

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ NÜKLEER ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**RADYASYON ZIRHLAMASI AMACIYLA
KARBONLU YAPI ÇELİKLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fiz. Müh. Hakkı DURMAZ
(304981012)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 2 Ocak 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 18 Ocak 2002**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Nurfer GÜNGÖR
Doç. Dr. Filiz BAYTAŞ**

M. Filiz 21.01.2002
N. Nurfer 21-01-02
F. Baytaş 21/1/2002

126926

OCAK 2002

ÖNSÖZ

Bu çalışmada üç farklı gama kaynağı kullanılarak, farklı karbon oranlarına sahip karbonlu yapı çeliklerinin radyasyon zırlamasına ilişkin bir değerlendirme yapılması hedeflenmiştir. Bu çalışmanın, konu ilgililerine yararlı olacağını umarım.

Bu Yüksek Lisans tez çalışması, İ.T.Ü. Araştırma Fonu tarafından Lisansüstü Araştırma Projesi olarak kabul edilerek, desteklenmiştir.

Yüksek Lisans eğitimim sırasında ders aşamasında ve tez aşamasında bana olan değerli yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip, kendinde bulunan pozitif enerjiyi bana aktaran, her konuda beni destekleyip, teşvik eden değerli Hocam Sayın Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL'a en içten duygularıyla şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

Fotoğraflama ve bilgisayar ortamına aktarımında yardımcı olan İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı Araş. Gör. Arzu KURTOĞLU'na teşekkür ederim.

Bana sevgisiyle her zaman destek veren Nurten KORKMAZ'a kalpten sevgilerimi sunarım.

Bugünlere ulaşmamda bana her zaman her yönden destek olan aileme minnetlerimi sunarım.

Ocak 2002

Hakkı DURMAZ

126 926

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. ZIRHLAMA	4
2.1. Zırhlamanın Önemi ve Nükleer Teknolojideki Yeri	4
2.2.1. Radyasyonun Biyolojik Etkileri	5
2.2.1.1. Somatik Etkiler	6
2.2.1.2. Genetik Etkiler	7
2.1.2. Radyasyon Tehlikelerinden Korunma Yöntemleri	9
2.1.2.1. Radyasyon Kaynağına Uzaklık	9
2.1.2.2. Işınlama Süresi	10
2.1.2.3. Radyasyon Kaynağının Zırhlanması	10
2.1.2.3.1. Fotoelektrik Olay	18
2.1.2.3.2. Compton Olayı	19
2.1.2.3.3. Çift Oluşumu	21
2.2. Zırhlama Hesapları	22
2.2.1. Boşlukta Nokta Kaynak	24
2.2.2. Homojen Yavaşlatıcı Ortamda Nokta Kaynak	24
2.2.3. Zırh Malzeme İçinde Nokta Kaynak	25
2.2.4. Heterojen Ortamda Nokta Kaynak	25
2.2.5. Homojen Ortamda Çok Enerjili Nokta Kaynak	25
2.2.6. Heterojen Ortamda Çok Enerjili Nokta Kaynak	26
2.3. Zırhlamada Kullanılan Malzemeler	26
2.3.1. Zırh Malzemelerinden Beklenen Özellikler	26
2.3.1.1. Radyasyon Zayıflatma	26
2.3.1.2. İyi Isıl İletkenliği	27
2.3.1.3. Radyasyon Mukavemeti	27
2.3.1.4. Ekonomiklik	27
2.3.2. Bazı Zırh Malzemeleri	27
2.3.3. Zırh Malzemelerinin Genel Özellikleri	29

3. ÇELİKLER	31
3.1. Çeliklerin Tanıtımı ve Faz Diyagramı	31
3.1.1. Çeliklerin Tanıtımı	31
3.1.2. Faz Diyagramı	33
3.2. Çeliklerin Sınıflandırılması	36
3.2.1. SAE - AISI Sistemi	37
3.2.2. UNS Sistemi	37
3.3. Zırhlamada Kullanılan Çeliklerin Tanıtımı	38
3.3.1. Karbon Çeliklerinin SAE - AISI Gösterimi	39
3.3.2. SAE-AISI Karbon Çeliklerinin Kullanılışı ve Karakteristikleri	39
3.3.2.1. Grup1	42
3.3.2.2. Grup2	43
3.3.2.3. Grup3	44
3.3.2.4. Grup4	45
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	46
4.1. Deneyde Kullanılan Numunelerin Tanıtımı	46
4.2. Deneyde Kullanılan Radyasyon Kaynakları	50
4.2.1. Cs-137 Radyoizotop Kaynağı	52
4.2.2. Co-60 Radyoizotop Kaynağı	52
4.2.3. Ir-192 Radyoizotop Kaynağı	53
4.3. Deneyde Kullanılan Cihazlar	54
4.3.1. Sintilasyon Dedektörü	54
4.3.2. Kurşun Kollimatör	55
4.3.3. Çok Kanallı Analizör	56
4.4. Sayım Geometrisi	56
4.5. Deney Düzenegi	58
4.6. Deneyin Yapılışı	58
5. DENEY SONUÇLARI	60
5.1. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak Farklı Karbonlu Yapı Çelikleri İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	60
5.1.1. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak 1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	61
5.1.2. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak 1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	63
5.1.3. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak 1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	65
5.1.4. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak 1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	67
5.2. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak Farklı Karbonlu Yapı Çelikleri İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	69
5.2.1. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak 1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	69
5.2.2. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak 1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	71
5.2.3. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak 1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	73

5.2.4. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak 1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	75
5.3. Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak Farklı Karbonlu Yapı Çelikleri İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	77
5.3.1. Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak 1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	77
5.3.2. Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak 1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	79
5.3.3. Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak 1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	81
5.3.4. Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak 1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	83
5.4. Deneysel Sonuçların Mukayeseli Değerlendirilmesi	85
5.4.1. Farklı Gama Kaynaklarına Göre Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	85
5.4.1.1. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanarak Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	86
5.4.1.2. Co-60 Gama Kaynağı Kullanarak Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	87
5.4.1.3. Ir-192 Gama Kaynağı Kullanarak Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	88
5.4.2. Farklı Yapı Çeliklerine Göre Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	89
5.4.2.1. 1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Her Gama Kaynağına Göre Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	90
5.4.2.2. 1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Her Gama Kaynağına Göre Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	91
5.4.3.3. 1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Her Gama Kaynağına Göre Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	92
5.4.3.4. 1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Her Gama Kaynağına Göre Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	93
5.5. Teorik Olarak Hesaplama Sonuçları	95
5.6. Deneysel ve Teorik Hesaplama Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	97
5.6.1. 1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Teorik Değerlerle Mukayeseli Değerlendirilmesi	97
5.6.2. 1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Teorik Değerlerle Mukayeseli Değerlendirilmesi	100
5.6.3. 1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Teorik Değerlerle Mukayeseli Değerlendirilmesi	103
5.6.4. 1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Teorik Değerlerle Mukayeseli Değerlendirilmesi	106

5.6.5. Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle Tüm Karbonlu Yapı Çelikleri İçin Elde Edilen Deneysel Yarı-Kalınlık Değerlerinin Teorik Değerlerle Mukayeseli Değerlendirilmesi	109
5.6.6. Co-60 Radyoizotop Kaynağı İle Tüm Karbonlu Yapı Çelikleri İçin Elde Edilen Deneysel Yarı-Kalınlık Değerlerinin Teorik Değerlerle Mukayeseli Değerlendirilmesi	110
5.6.7. Ir-192 Radyoizotop Kaynağı İle Tüm Karbonlu Yapı Çelikleri İçin Elde Edilen Deneysel Yarı-Kalınlık Değerlerinin Teorik Değerlerle Mukayeseli Değerlendirilmesi	111
5.6.8. Farklı Radyoizotoplarla Çalışma Sonucu Elde Edilen Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplamaya Göre Bağlı Hatalarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	112
6. SONUÇ VE TARTIŞMA	113
KAYNAKLAR	117
ÖZGEÇMİŞ	119

KISALTMALAR

ALARA	: As Low As Reasonably Achievable
HVL	: Half Value Layer
ICRP	: International Commission on Radiological Protection
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
İÜ	: İstanbul Üniversitesi
MMED	: Maksimum müsaade edilebilir doz
NaI(Tl)	: Talyumla aktive edilmiş Sodyum İyodür
NRC	: Nuclear Regulatory Commission
OTK	: Onda bir tabaka kalınlığı
SAE-AISI	: Society of Automotive Engineer's - American Iron and Steel Institute
UNS	: Unified Numbering Sysytem
YTK	: Yarı tabaka kalınlığı

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1	SAE-AISI Sistemine Göre Karbonlu ve Alaşımlı Çeliklerin Gösterimi (Davis, 1996).....	40
Tablo 3.2	Karbonlu Çeliklerin Gösterimi (Davis, 1996)	41
Tablo 4.1	Deneylerde Kullanılan Çeliklerin Özellikleri	47
Tablo 4.2	Çalışılan Numunelerin Özellikleri.....	47
Tablo 4.3	Deneylerde Kullanılan Radyoizotopların Özellikleri (Mcmaster, 1963)	51
Tablo 5.1	1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Cs-137 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları	62
Tablo 5.2	1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Cs-137 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları.....	64
Tablo 5.3	1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Cs-137 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları.....	66
Tablo 5.4	1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Cs-137 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları.....	68
Tablo 5.5	1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Co-60 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları.....	70
Tablo 5.6	1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Co-60 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları.....	72
Tablo 5.7	1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Co-60 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları.....	74
Tablo 5.8	1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Co-60 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları.....	76
Tablo 5.9	1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Ir-192 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları.....	78
Tablo 5.10	1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Ir-192 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları.....	80
Tablo 5.11	1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Ir-192 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları.....	82
Tablo 5.12	1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Ir-192 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları.....	84
Tablo 5.13	Tüm Gama Kaynakları Zırhlamalarında Kalınlığa Bağlı Bağıl Sayım Deney Sonuçları.....	89
Tablo 5.14	Her Karbonlu Yapı Çeliği İçin Tüm Gama Kaynakları Zırhlamalarında Kalınlığa Bağlı Bağıl Sayım Deney Sonuçları.....	94
Tablo 5.15	Tüm Gama Kaynakları Zırhlamalarında Kalınlığa Bağlı Bağıl Sayım Değerlerinin Teorik Hesaplama Sonuçları.....	96

Tablo 5.16	1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Tüm Gama Kaynakları Zırhlamalarında Bağıl Hata Hesaplama Sonuçları.....	99
Tablo 5.17	1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Tüm Gama Kaynakları Zırhlamalarında Bağıl Hata Hesaplama Sonuçları.....	102
Tablo 5.18	1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Tüm Gama Kaynakları Zırhlamalarında Bağıl Hata Hesaplama Sonuçları.....	105
Tablo 5.19	1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Tüm Gama Kaynakları Zırhlamalarında Bağıl Hata Hesaplama Sonuçları.....	108
Tablo 5.20	Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle Her Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deneysel ve Teorik Yarı-Kalınlık Değerlerinin Mukayeseli Karşılaştırılması.....	109
Tablo 5.21	Co-60 Radyoizotop Kaynağı İle Her Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deneysel ve Teorik Yarı-Kalınlık Değerlerinin Mukayeseli Karşılaştırılması.....	110
Tablo 5.22	Ir-192 Radyoizotop Kaynağı İle Her Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deneysel ve Teorik Yarı-Kalınlık Değerlerinin Mukayeseli Karşılaştırılması.....	111

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	Radyasyon Yayınımı (Powsner, 1998).....	9
Şekil 2.2	Radyan Enerji Akı Yoğunluğu (Powsner,1998).....	11
Şekil 2.3	Zayıflama (Powsner, 1998).....	11
Şekil 2.4	Zırlama (Powsner, 1998).....	12
Şekil 2.5	Alfa, Beta ve Gama Parçacıklarının Deriden Geçişleri (Powsner, 1998).....	13
Şekil 2.6	Alfa Parçacığı (Powsner, 1998).....	14
Şekil 2.7	Alfa ve Beta Parçacıklarının Madde İle Etkileşimleri (Powsner, 1998).....	15
Şekil 2.8	Fotoelektrik Olay (Powsner, 1998).....	18
Şekil 2.9	Compton Saçılması (Powsner, 1998).....	20
Şekil 2.10	Çift Oluşumu (Powsner, 1998).....	21
Şekil 2.11	Farklı Malzemelerin Farklı Enerjilere Karşılık Gelen Yarı-Kalınlık Değerleri (Shapiro,1990).....	30
Şekil 3.1	Demir - Demir Karbür Faz Diyagramı.....	33
Şekil 4.1	Çalışılan numunelerin geometrilerinin şematik gösterimi.....	48
Şekil 4.2	1010 Karbonlu Yapı Çeliği Numuneleri.....	48
Şekil 4.3	1040 Karbonlu Yapı Çeliği Numuneleri.....	49
Şekil 4.4	1050 Karbonlu Yapı Çeliği Numuneleri.....	49
Şekil 4.5	1090 Karbonlu Yapı Çeliği Numuneleri.....	50
Şekil 4.6	Deneylerde Kullanılan Cs-137 Gama Radyoizotop Kaynağı.....	52
Şekil 4.7	Deneylerde Kullanılan Co-60 Gama Radyoizotop Kaynağı.....	53
Şekil 4.8	Deneylerde Kullanılan Ir-192 Gama Radyoizotop Kaynağı.....	53
Şekil 4.9	Nucleus Marka Sintilasyon Dedektörü.....	54
Şekil 4.10	Deneylerde Kullanılan Kurşun Kolimatör.....	55
Şekil 4.11	Deneylerde Kullanılan Çok Kanallı Analizör.....	56
Şekil 4.12	Sayım Geometrisinin Şematik Gösterimi.....	57
Şekil 4.13	Sayım Geometrisi.....	57
Şekil 4.14	Deney Düzeneği.....	58
Şekil 5.1	Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle 1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları.....	61
Şekil 5.2	Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle 1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları.....	63
Şekil 5.3	Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle 1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları.....	65
Şekil 5.4	Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle 1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları.....	67
Şekil 5.5	Co-60 Radyoizotop Kaynağı İle 1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları.....	69

Şekil 5.6	Co-60 Radyoizotop Kaynağı İle 1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları.....	71
Şekil 5.7	Co-60 Radyoizotop Kaynağı İle 1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları.....	73
Şekil 5.8	Co-60 Radyoizotop Kaynağı İle 1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları.....	75
Şekil 5.9	Ir-192 Radyoizotop Kaynağı İle 1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları.....	77
Şekil 5.10	Ir-192 Radyoizotop Kaynağı İle 1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları.....	79
Şekil 5.11	Ir-192 Radyoizotop Kaynağı İle 1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları.....	81
Şekil 5.12	Ir-192 Radyoizotop Kaynağı İle 1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları.....	83
Şekil 5.13	Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle Tüm Karbonlu Yapı Çelikleri İçin Yapılan Deney Sonuçları.....	86
Şekil 5.14	Co-60 Radyoizotop Kaynağı İle Tüm Karbonlu Yapı Çelikleri İçin Yapılan Deney Sonuçları.....	87
Şekil 5.15	Ir-192 Radyoizotop Kaynağı İle Tüm Karbonlu Yapı Çelikleri İçin Yapılan Deney Sonuçları.....	88
Şekil 5.16	1010 Karbonlu Yapı Çeliğini Tüm Gama Kaynaklarına İlişkin Bağlı Sayım Kalınlık Değerlendirmesi.....	90
Şekil 5.17	1040 Karbonlu Yapı Çeliğini Tüm Gama Kaynaklarına İlişkin Bağlı Sayım Kalınlık Değerlendirmesi.....	91
Şekil 5.18	1050 Karbonlu Yapı Çeliğini Tüm Gama Kaynaklarına İlişkin Bağlı Sayım Kalınlık Değerlendirmesi.....	92
Şekil 5.19	1090 Karbonlu Yapı Çeliğini Tüm Gama Kaynaklarına İlişkin Bağlı Sayım Kalınlık Değerlendirmesi.....	93
Şekil 5.20	1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Cs-137 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması.....	97
Şekil 5.21	1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Co-60 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması.....	98
Şekil 5.22	1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Ir-192 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması.....	98
Şekil 5.23	1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Cs-137 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması.....	100
Şekil 5.24	1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Cs-60 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması.....	101
Şekil 5.25	1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Ir-192 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması.....	101

Şekil 5.26	1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Cs-137 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması.....	103
Şekil 5.27	1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Co-60 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması.....	104
Şekil 5.28	1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Ir-192 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması.....	104
Şekil 5.29	1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Cs-137 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması.....	106
Şekil 5.30	1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Co-60 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması.....	107
Şekil 5.31	1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Ir-192 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması.....	107
Şekil 5.32	Cs-137 Radyoizotop Kaynağı ile Her Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deneysel ve Teorik Yarı-Kalınlık Değerlerinin Bağlı Hatalarının Mukayeseli Karşılaştırılması.....	109
Şekil 5.33	Co-60 Radyoizotop Kaynağı ile Her Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deneysel ve Teorik Yarı-Kalınlık Değerlerinin Bağlı Hatalarının Mukayeseli Karşılaştırılması.....	110
Şekil 5.34	Ir-192 Radyoizotop Kaynağı ile Her Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deneysel ve Teorik Yarı-Kalınlık Değerlerinin Bağlı Hatalarının Mukayeseli Karşılaştırılması.....	111
Şekil 5.35	Her Bir Radyoizotop Kaynak İle Tüm Karbonlu Yapı Çelikleri İçin Elde Edilen Bağlı Hataların Mukayesesi.....	112

SEMBOL LİSTESİ

ξ	: Ortalama fonksiyonel enerji kaybı
η	: Fotoelektrik absorpsiyon olasılığı
θ	: Saçılma açısı
μ	: Lineer absorpsiyon katsayısı
τ	: Fotoelektrik absorpsiyon
σ	: Compton absorpsiyonu
ρ	: Malzeme yoğunluğu
$\Delta\lambda$	: Dalga boyu farkı
ΔI	: Şiddet azalması
μ_i	: i'inci malzemenin absorblanma katsayısı
μ_j	: j'inci alaşım elementinin absorblanma katsayısı
μ_m	: Kütle absorpsiyon katsayısı
Δx	: Kısa bir uzaklık
B	: Büyüme faktörü
c	: Işık hızı
d_m	: Ölçülen doz
d_{mmd}	: Maksimum müsaade edilebilecek doz
E_γ	: γ Parçacığının enerjisi
E_i	: Çok enerjili kaynağın i'inci enerjisi
f	: Gecikme zaman faktörü
f_i	: i'inci enerji pikinin bolluk yüzdesi
g	: Alaşım yüzde miktarı
$h.\gamma$	: Fotonun enerjisi
h	: Planck sabiti
I	: Madde üzerine düşen radyasyon şiddeti
K	: Çift oluşumu
L	: Malzemelerin toplam ortalama serbest yol uzunluğu
M	: Nötronun çarptığı çekirdeğin kütlesi
m	: Elektronun kütlesi
N	: Radyasyon kaynağının enerji sayısı
P	: Alaşımdaki element sayısı
R	: Dedektörün ölçüm faktörü
r	: Kaynak ile nokta arası uzaklık
s_i	: Heterojen ortamın ortalama serbest yol uzunluğu değişkeni
S_p	: Kaynağın aktivitesi
t_γ	: Çalışma süresi
t_i	: i'inci zırhın kalınlığı
v	: Elektronun hızı
W	: Elektronun bağlanma enerjisi
x	: Absorbanın kalınlığı
Z	: Maddenin atom numarası

RADYASYON ZIRHLAMASI AMACIYLA KARBONLU YAPI ÇELİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Radyasyonla çalışmalarda, zırhlama önem arz etmektedir. Radyasyon kaynağı ile çalışma durumunda, çalışma şartları, belirli sürelerle ve radyasyon kaynağına belli bir yakınlıkta çalışmayı gerektirir. Bu ise, çalışma dozunun müsaade edilen dozlar seviyesinde tutulabilmesi için zırhlamayı zorunlu kılar.

Zırhlamada, sıkça kullanılan bir malzeme çeliktir. Ve çoğunlukla da karbonlu yapı çeliklerinin kullanımı tercih edilmektedir. Bu çalışmada, karbonlu yapı çelikleri bir sistematik içinde ele alınmış ve günümüzde yaygın kullanımı olan 1010, 1040, 1050 ve 1090 yapı çelikleri ile çalışılmıştır. Söz konusu karbonlu yapı çelikleri numuneleri farklı kalınlıklarda ve toplam kalınlığı 5 cm olacak şekilde hazırlanmıştır.

Endüstriyel amaçlı en çok kullanılan üç gama radyoizotop kaynağı olan Co-60, Cs-137 ve Ir-192 radyoizotopları ile çalışılmıştır. Her üç radyoizotop kaynak için dört farklı yapı çeliği kullanılarak, farklı kalınlıklara ilişkin deneyler yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlarla, karbonlu yapı çelikleri için, üç farklı gama radyoizotop kaynağına ilişkin yarı-kalınlık tayini yapılmıştır. Böylelikle, çalışılan karbonlu yapı çelikleri için üç farklı gama radyoizotop kaynağı için yapılan deneylerden hareketle tayin edilen yarı-kalınlıklar çerçevesinde yapı çeliklerine ilişkin zırhlama değerlendirilmesi yapılmış ve karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır.

EVALUATION OF PLAIN CARBON STEELS FOR RADIATION PROTECTION

SUMMARY

Shielding is being important during the radiation working. It is necessity closing to the radiation source door working period when studying with radiation. It is caused the using of a shield for taking the doses at the permissible levels.

Steel is a material which are used frequently. Generally carbonized structure steels are preferred. In this study, carbonized structure steels are investigated as sistematically and 1010, 1040, 1050 and 1090 steels will be observed for this purpose. Carbonized structure steel samples are prepared in the different thickness, but reach to 5 cm together.

Co-60, Cs-137, Ir-192 are used as radiation sources which are frequently used in the industrial applications. The experiments will be observed for three different sources with using four different structure steels for different thickness of them.

Evaluation of the experimentel results, half-value layers will be determined. So, the carbonized structure steel will be evaluated by using half-value layers which are determined from experimentally, and evaluated comperatively.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Radyasyon, kainatın hemen oluşumundan sonra varolan, fakat insanoğlunun yakın bir geçmişte keşfettiği bir olgudur. Boşluğa veya bir ortama parçacık veya dalga tabiatına uyarak enerji yayınımlı olan "radyasyon", bugün pek çok alanda insanlar tarafından kullanılmaktadır. Günümüzde farklı radyasyon kaynaklarından bahsedilebilir (Thewlis ve diğ., 1962).

İkinci Dünya savaşının sona ermesinden bu yana, dünyada kullanılan radyoaktif maddelerin ve radyasyon kaynaklarının sayısında hızlı ve sürekli bir artış gözlenmektedir. Radyoaktif maddeler ve radyasyon yayınımlı aletler, günlük yaşantımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir (Oberhofer, 1991).

1932 yılında nötronun keşfini takiben, radyoaktif elementlerin yapay olarak oluşturulmasının mümkün olduğunun bulunması, çekirdek fisyonu olayının keşfine öncülük yapmıştır. Fisyonun keşfi, nükleer silahların yapılmasına imkan verdiği gibi, aynı zamanda, atom enerjisinden, insan kontrolü altında yararlanılmasına olanak sağlayan nükleer reaktörlerin geliştirilmesine de yol açılmıştır.

Özellikle 20. yüzyılın ortalarından itibaren nükleer reaktörlerdeki fisyon ve nötron bombardımanı ile oluşturulan radyoizotopların tehlikeli ve zararlı etkilerine karşı korunma tedbirleri ve zırhlama teknolojileri başarı ile gerçekleştirilmiştir. Bunun sonucu olarak ise, radyoizotoplar, nükleer uygulamaların vazgeçilmez bir elemanı olarak kabul edilmişlerdir.

Geliştirilen teknoloji ile radyoizotopların her alanda kullanılması, bazı durumlarda tek çözüm ve bazı durumlarda da en ekonomik ve duyarlı çözüm olması bakımından endüstrinin vazgeçilmez unsuru haline gelmiştir (**Gardner ve Ely, 1967**). Bu durum radyoizotopların ve bu bağlamda, nükleer tekniklerin kronolojik olarak teknolojik yeniliklerine karşın yaygınlaşmalarına neden olmuştur.

Nükleer reaktörler sayesinde bugün, hemen tüm kimyasal elementlerin radyoizotopları elde edilebilmekte ve bunlar çok farklı alanlarda kullanılmaktadır.

Bunlardan en önemlileri;

- Endüstri
- Tıp
- Tarım ve hayvancılık
- Arkeometri

çalışmalarıdır.

Bugün endüstrinin her alanında radyoizotoplar nükleer teknikler kapsamında kullanılmaktadır. Bunlardan önemli olan bazıları, kömür, petrol, gaz, petro-kimya, çimento, cam, inşaat malzemeleri, kağıt, demir-çelik, otomotiv vb... alanlarıdır (**Földiak, 1986**).

Tarım ve hayvancılık alanı ile arkeometride kullanım ise, esas itibariyle, araştırma ve inceleme amaçlı olmaktadır. Tarım ve hayvancılık alanında, ıslah çalışmaları için uygulamalar yapılabildiği gibi, hayvan sağlığına hizmet verecek şekilde de nükleer tekniklerin kullanıldığını görmekteyiz (**Bernier ve ark, 1997**). Arkeometride ise, tek ve yegane olan bir çok antik eserin tahribatsız olarak incelenmesi, radyoizotoplar ve nükleer tekniklerin kullanımıyla mümkün olabilmektedir (**Tuğrul, 1985**).

Radyoizotopların en iyi bilinen ve topluma yansıyan uygulaması belki de tıptaki uygulamalarıdır. Radyoizotop kullanımıyla geliştirilen pek çok nükleer teknik, tıp alanında başarıyla hizmet vermektedir. Tıp alanında teşhis ve tedavi amaçlı olarak radyoizotoplar rahatlıkla kullanılabilir (Bernier ve ark, 1997).

Böylece, günümüzde doğal yollar dışında radyasyona maruz kalabilme şartları söz konusudur. Radyasyonun canlılar üzerinde istenmeyen etkilerinin önlenmesi açısından önemli bir konu "zırhlama"dır. Zırhlama malzemeleri içinde önde gelen bir malzeme ise çeliklerdir.

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında karbonlu yapı çeliklerinin farklı gama radyasyon kaynakları için zırhlama özelliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda, bu çalışmada, farklı karbonlu çelikler ile farklı gama kaynaklarına ilişkin belirli bir düzenek ile deneysel araştırmaların yapılması ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

ZIRHLAMA

Radyasyon çalışmalarında karşılaşılan radyasyonlar, doğrudan iyonlaştırıcı radyasyonlar ve doğrudan iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır.

Birinci grup; α - tanecikleri, ağır iyonlar, β - tanecikleri, protonlar gibi yüklü tüm taneciklerdir.

İkinci gruptakiler ise elektromanyetik radyasyonların bazı tipleri (X, γ gibi) ve nötronları içine almaktadır. Bunlar, bir maddeden geçerken iyonlaştırıcı özellikteki sekonder radyasyonları meydana getirmekte ve bunlar yardımıyla da dolaylı olarak iyonizasyona neden olmaktadır (Shapiro, 1991).

İyonlaştırıcı radyasyonların zararlı biyolojik etkileri, bunların keşfedilmelerinden hemen sonra ortaya çıkmıştır.

Roentgen'in 1895 yılında X - ışınlarının keşfini takiben, radyasyonların insan sağlığı üzerinde zararlı biyolojik etkiler meydana getirdiği fark edilmiş ve konuya ilişkin literatür oluşmuştur (Bevelacqua, 1999).

Radyasyonun canlılar üzerindeki negatif etkileri belirlendikten sonra radyasyon çalışmalarında zırhlama önemli bir sorun olarak görülmeye başlanmıştır (Profio, 1979).

Bu sorunun fark edilmesinden günümüze kadar radyasyonun cinsine göre birçok zırhlama tekniği geliştirilmiştir.

Zırhlama amacıyla çok çeşitli malzemeler kullanılmıştır. Çalışmalar günümüzde de halen devam etmektedir (Kurashige ve Kosako, 2001).

2.1. ZIRHLAMANIN ÖNEMİ VE NÜKLEER TEKNOLOJİDEKİ YERİ

Zırhlamanın önemini vurgulayabilmek için radyasyonun biyolojik etkileri konusunun, nükleer teknolojiye yerini belirleyebilmek için ise, radyasyon tehlikelerinden korunma yöntemlerinin incelenmesi bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.1.1. Radyasyonun Biyolojik Etkileri

Radyasyonlara yeterince uzun maruz kalınması halinde, canlılar üzerindeki temel etki hücrelerin tahribidir. Ancak, hücrelerin radyasyonlar tarafından tahrip mekanizması tam olarak anlaşılmış değildir (Williams, 1987). Bununla beraber iyonizan radyasyonların en önemli etkisinin atomları iyonlaştırmak olduğu bilinen bir olgudur.

İyonizasyonun hücre üzerindeki etkisinin nasıl olduğunu açıklamaya çalışan başlıca iki teori vardır (Bevelacqua, 1999). Her iki teori de, çok sayıda hücrenin az veya çok iyonizasyona maruz kalmasına karşın, bundan açık bir şekilde etkilenen hücre sayısının nispeten az olması gerçeğini açıklamak üzere ortaya konmuştur (Williams, 1987).

Bunlardan biri hedef teorisidir (target theory) ve hücre içinde küçük bir duyarlı hacmin bulunduğunu ve hücrenin önemli bir hasara uğraması için radyasyonun bu duyarlı hacme çarpmasının gerekli olduğunu varsaymaktadır. Hedef denilen bu hacmin dışındaki iyonizasyon etkisiz olarak kabul edilmektedir (Bevelacqua, 1999).

İkinci teori ise, iyonizasyonun hücre içinde kimyasal değişiklikler meydana getirdiğini ve telafi edilmeyecek bir hasarın meydana gelmesinden önce, hücre içinde belirli bir minimum miktar kimyasal değişikliği yapacak kadar iyonizasyon meydana gelmesi zorunluluğunu kabul etmektir (Williams, 1987). Her iki teoriye göre de, canlıda biyolojik önemli bir etkinin meydana gelebilmesi için hücrenin belli bir radyasyon seviyesi üzerinde radyasyona maruz kalmasının gerekliliği belirtilmektedir.

Hücre etkilenmesi meydana getiren radyasyonların biyolojik etkileri başlıca ikiye ayrılarak incelenmektedir (Williams, 1987).

Bunlar:

- 1) Somatik etkiler
- 2) Genetik etkiler

olmaktadır.

2.1.1.1. Somatik etkiler

Radyasyona maruz kalan kişinin, yaşam süresi içinde kendisinde ortaya çıkan biyolojik etkilerdir. Bu etkilerin cinsi ve önemi bir çok faktöre bağlıdır (Powsner, 1998). Bunların en önemlileri:

- Maruz kalınan toplam radyasyon dozu,
- Dozun alındığı zaman süresi,
- Radyasyonlara maruz kalan vücut kısmı ve alanı

olmaktadır.

Radyasyonların organizmaya etkileri incelendiği zaman, bu etkilerin insan vücudunun tümünün veya sadece bir kısmının ışınlanmasına bağlı olarak değiştiği görülür. Ayrıca, vücudun sadece bir kısmı ışınladığı takdirde, bu kısmın vücutta bulunduğu bölgenin ve alanının büyüklüğü, meydana gelecek etkiler bakımından önem taşımaktadır (Williams, 1987). Belirli bir radyasyon dozuna maruz kalan kısım, vücudun tümü ise meydana gelecek etki en büyük, aynı doza maruz kalan kısım sadece cildin ve kasların küçük bir hacmi ise etki en küçük olmaktadır (Williams, 1987).

Ayrıca, radyasyon hasarı için tamir olayı meydana geldiğinden, radyasyon etkisi belirli bir dozun verilmiş süresine bağlıdır. Genellikle, radyasyon dozu uzun bir zaman süresine yayılmış olarak verildiği takdirde, aynı dozun kısa süreli bir tek doz olarak verilmesinden, daha az etkin olmaktadır.

Radyasyonun, biyolojik etkiyi meydana getirebilecek radyasyon doz seviyeleri, esas itibarıyla bilinmesine rağmen bu radyasyon seviyelerinin tam ve kesin olarak tayini zorluklar arz etmektedir.

Burada önemli bir çok etken mevcuttur. Her şeyden önce insanlar, heterojen bir tür olup, bireylerin diğer bütün uyarıcı etkilere olduğu gibi, radyasyona karşı tepkileri de hayli değişkendir.

İnsanlar üzerinde geniş ölçüde, tehlikeli deneyler, doğal olarak yapılamamaktadır. İnsanlar üzerindeki radyasyon etkileri hakkında hali hazırdaki bilgilerimiz, atom bombasının etkilerinin gözlenmesiyle oluşturulmaya çalışılmıştır. Bunun yanında, ilgili bilgiler tedavi amacıyla yapılan ışınlamalar ile tehlikesiz seviyede veya kontrolsüz olarak maruz kalınan mesleki ışınlamalardan elde edilen verilerle oluşturulmuştur (Shapiro, 1990).

İyi dozimetri koşulları altında kontrollü deneyler ancak hayvanlar üzerinde yapılabilmekte ve bilgilerimizin çoğu bu tür deneylerden elde edilmektedir. Bununla beraber, bu deneylerden çıkarılan sonuçların insanlara uygulanması, işin güçlük gösteren diğer bir safhasını teşkil etmektedir (Powsner, 1998).

İnsanların radyasyon dozlarına maruz kalmaları iki ayrı grupta incelenebilir :

- Kısa bir zaman süresi içinde ışınlama; böyle bir ışınlamaya "akut ışınlama" adı verilmektedir (Powsner, 1998).

- Uzun bir zaman süresi içinde ışınlama; bu tür ışınlamaya "kronik ışınlama " denmektedir. Rutin mesleki ışınlamalar genellikle bu sınıfa girmektedir (Powsner, 1998).

2.1.1.2. Genetik etkiler

Üreme hücreleri dışında kalan insan hücrelerinin her biri 46 kromozom içermektedir (Powsner, 1998). Her kromozomda binlerce gen bulunmaktadır. Üreme hücrelerinde 23 kromozom olduğundan döllenmiş yumurta hücresi yarısı babadan yarısı anadan gelmek üzere yine 46 kromozom taşımaktadır (Bevelacqua, 1999).

Bireyin kişisel tabiatını belirleyen genlerin, kromozomlarının düzenlenişlerinin, ana ve babadan gelen gen özellikleri ile yakından ilişkisi bulunmaktadır.

Radyasyon etkisiyle, bu genlerden birinin yapısı değişebilir veya kromozom ipliği bir veya daha fazla yerden kırılabilir. Birinci durumda, hücrenin genetik materyalini oluşturan moleküllerde bir değişiklik meydana gelir ki; buna "gen mutasyonu" adı verilmektedir (Profio, 1979).

İkinci durumda ise üç ayrı sonuç meydana gelebilir (Powsner, 1998). Bunlar;

- Kırılan kromozom parçaları kırılmadan önceki şekilde yeniden birleşir ve hiçbir değişiklik görülmez .
- Kırılan parçalar yeniden birleşemez ve hücre ölür.
- Kırılan kromozom parçaları aslında olduğundan başka bir şekilde birleşerek yeni bir kromozom düzenlemesi meydana getirirler.

Hücre yaşadığı sürece meydana gelmiş olan herhangi bir mutasyon veya kromozomun yeniden düzenlenmesi, bölünme yoluyla yavru hücrelere geçer. Böylelikle bütün yeni kuşaklar değişikliğe uğramış hücrenin benzer bir kopyasını taşır.

Hücrenin radyasyondan etkilenmesinin meydana geliş olasılığı, esas itibariyle alınan toplam radyasyon dozu ve ışınlanan hücrelerin sayısına bağlıdır (Powsner, 1998). Bu bağlamda, mutasyonun meydana geliş olasılığını belirleyen ana faktör, hücrenin aldığı toplam radyasyon dozu olmaktadır.

Bir hücrenin radyasyon duyarlılığı; çoğalma kabiliyeti ile doğru, farklılaşma derecesi ile ters orantılıdır (Bevelacqua, 1999). Radyasyon duyarlılığı, hücre bölünmesinin bulunduğu safhalara, hücre aktivitesinin fazla olduğu organlara ve hücrenin kan, besin durumuna göre değişmektedir.

Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu (ICRP, 1977), "maksimum müsaade edilen doz" (MMED) kavramını "Bir insanda ömrü boyunca hiçbir zaman önemli bir vücut arızası (somatik hasar) ve aşırı bir genetik hasar meydana getirmesi beklenmeyen iyonlaştırıcı radyasyon dozu" olarak tanımlamaktadır.

2.1.2. Radyasyon Tehlikelerinden Korunma Yöntemleri

Radyasyon korunmasının ana ilkesi, vücudun maruz kalacağı radyasyon düzeyini mümkün olan en düşük düzeye indirmektir. "Olabilen en düşük radyasyon miktarı" (ALARA) ile çalışmak radyasyonla çalışmada esastır (NRC, 1991).

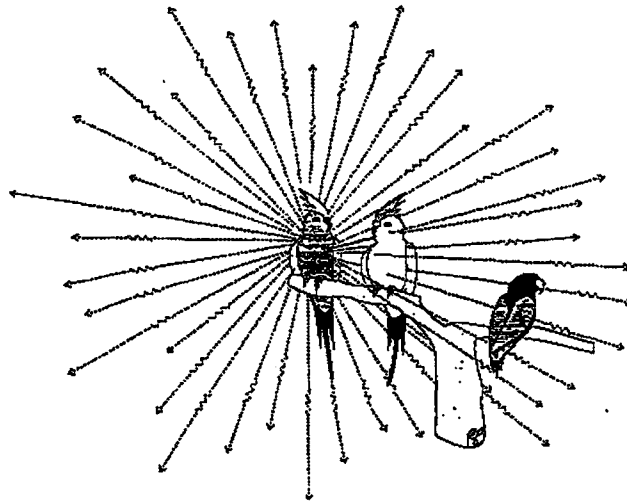
Bu bağlamda radyasyon tehlikelerinden korunmada üç faktör önemlidir. Bunlar;

- Radyasyon kaynağına uzaklık
- Işınlama süresi
- Zırhlama

olmaktadır.

2.1.2.1. Radyasyon Kaynağına Uzaklık

Radyasyon şiddeti, uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak azalır (Shapiro, 1990). Bir başka deyişle "ters kare" ilkesi izotropik nokta kaynak için geçerlidir (Şekil 2.1) (Powsner, 1998). Bu durumda, kaynaktan 100 cm uzaklıktaki radyasyon şiddeti, 10 cm 'deki radyasyon şiddetinden 100 kere daha az olacaktır. O halde radyasyonlu çalışmada ilke; radyasyon kaynağından mümkün olduğu kadar uzak durmak ve uzakta çalışmaktır.



Şekil 2.1 Radyasyon Yayınımı

2.1.2.2. Işınlama Süresi

Radyasyon alanında çalışırken, gereksiz radyasyon dozu almamak için çalışma süresi mümkün olduğu kadar kısa tutulmalıdır.

Bunun için de, çalışmaya başlamadan önce çalışma süresini öngören iyi bir çalışma programının yapılması ve bu programa çalışma süresince uyulması gereklidir.

Müsaade edilebilecek çalışma zamanı (saat / gün); günlük doz eşdeğeri sınırının (mrem / gün), ölçülen radyasyon doz şiddetine (mrem / saat) oranı olacak şekilde bulunabilir (Shapiro, 1990).

$$t_c = d_{mmd} / d_m \quad (2.1)$$

Burada;

t_c : Çalışma süresi

d_{mmd} : Maksimum müsaade edilebilecek doz

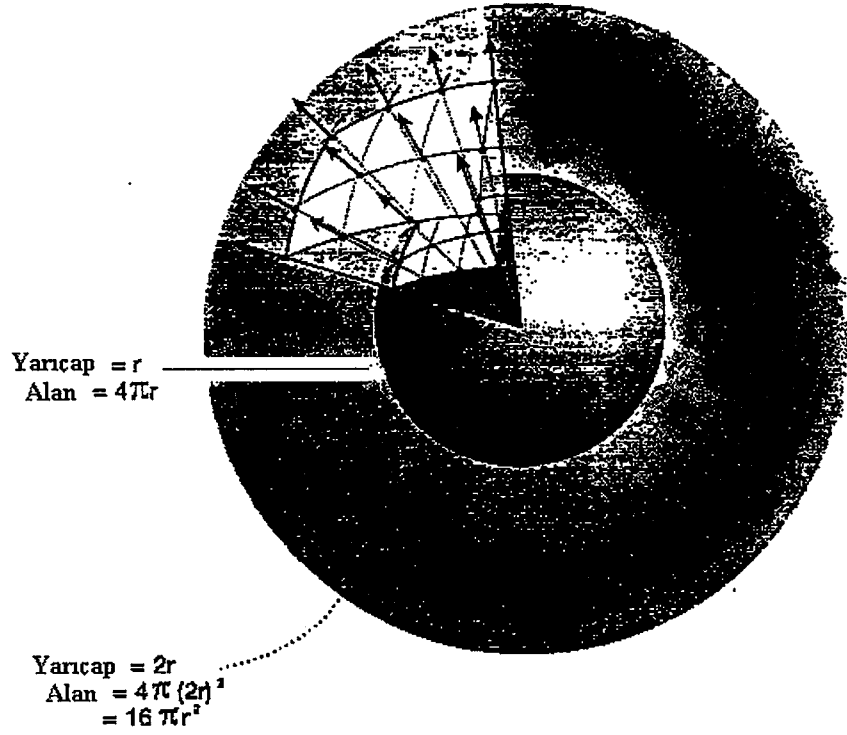
d_m : Ölçülen doz

olmaktadır.

2.1.2.3. Radyasyon Kaynağının Zırhlanması

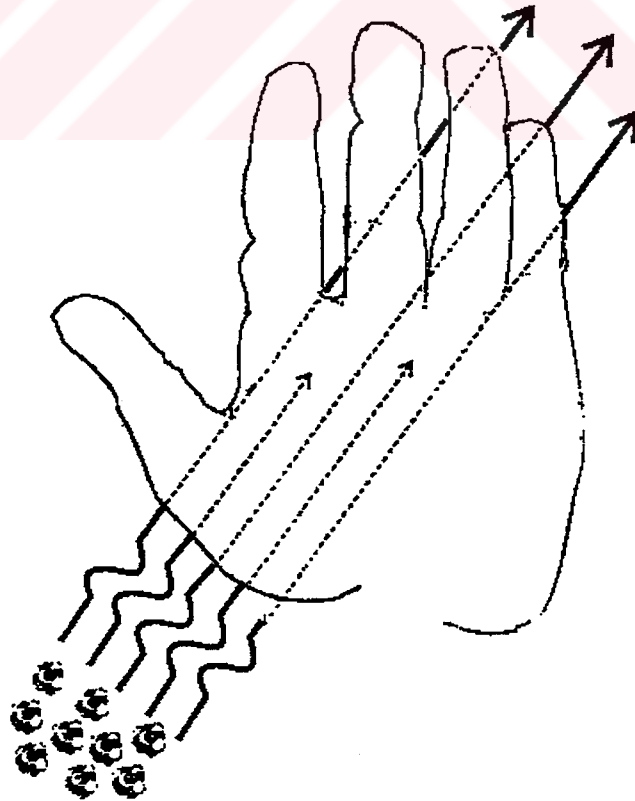
Kaynağa olan uzaklığın ve kaynak yakınında çalışma süresinin sınırlandırılması radyasyon dozunu yeteri kadar azaltmıyorsa, "zırhlama" yapılması gereklidir.

Belli bir nokta için, radyasyon şiddeti (veya radyan enerji akı yoğunluğu), o noktayı merkez kabul eden birim tesir kesitli bir küreye birim zamanda giren enerji olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.2) (Powsner, 1998).



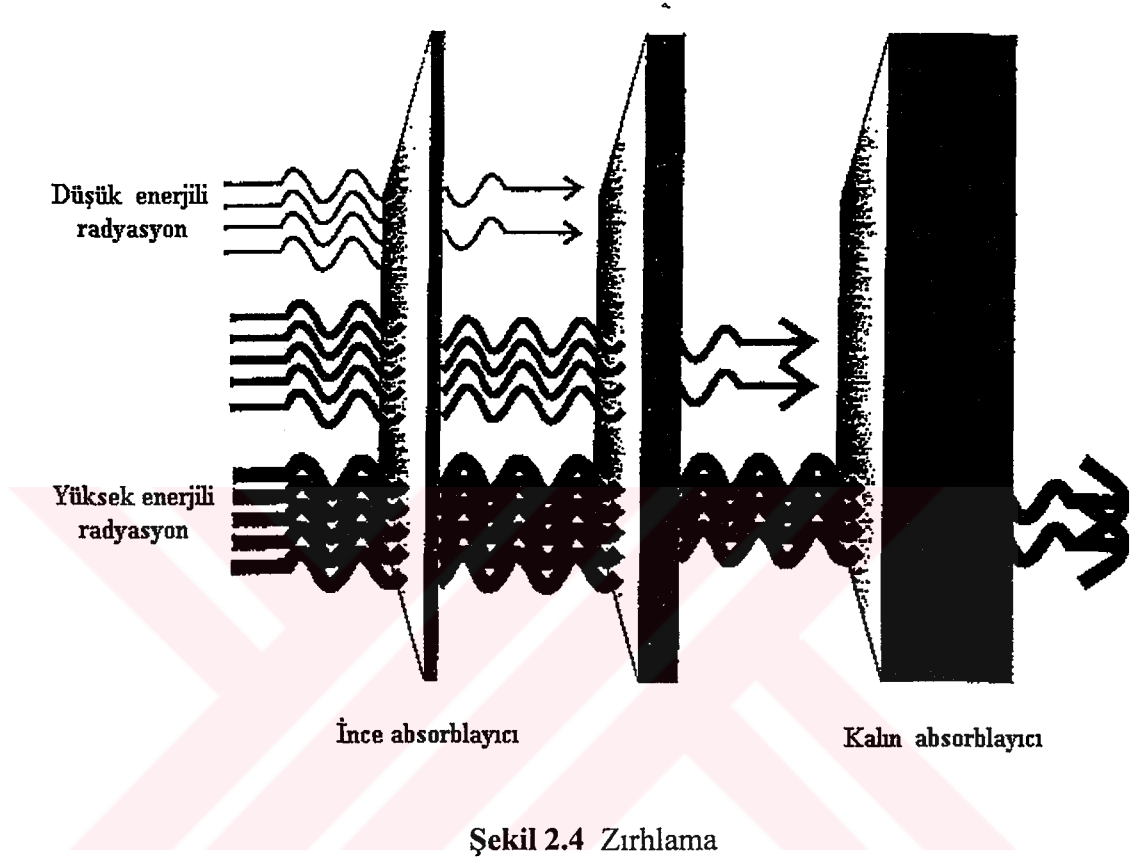
Şekil 2.2 Radyan Enerji Akı Yoğunluğu

Radyasyon maddeyi geçerken çeşitli etkileşmelerin sonucu olarak radyasyon şiddetinde bir azalma olur. Şiddetteki bu azalmaya "zayıflama" denir (Şekil 2.3) (Powsner, 1998).



Şekil 2.3 Zayıflama

"Zırhlama", radyasyon tehlikesinin önlenmesinin en etkin yöntemidir. Zırhlamanın esası radyasyon kaynağı ile çalışılacak yer arasına radyasyonu tamamen yutacak veya şiddetini azaltacak nitelikte bir engel konulmasıdır (Şekil 2.4) (Powsner, 1998).



Şekil 2.4 Zırhlama

Kaynaktan çıkan radyasyon, önce zırh malzemesi ile etkileşeceğinden enerjisinin büyük bir kısmını kaybeder, şiddeti azalır ve zırh tarafından önemli ölçüde yutulur.

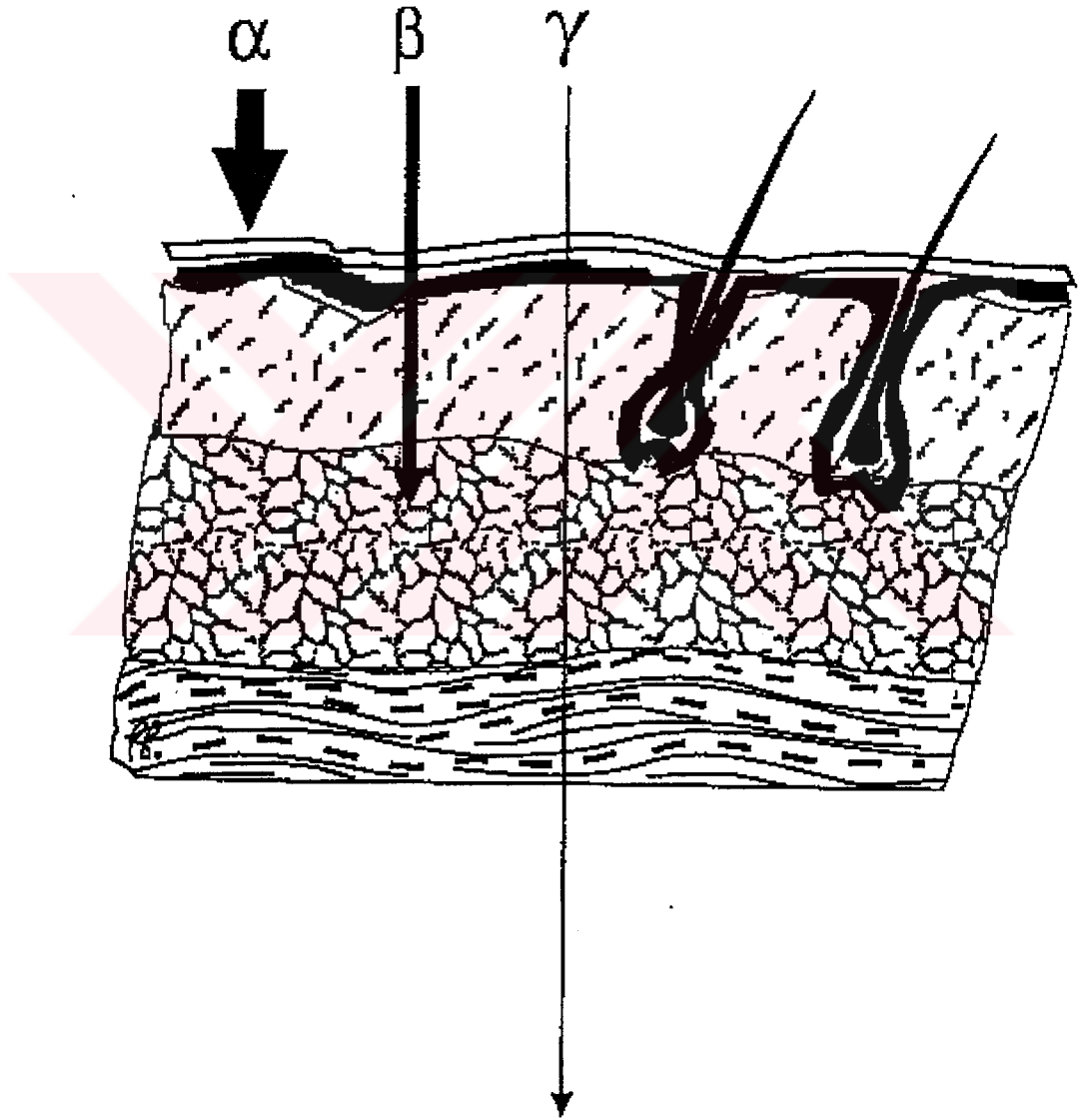
Genel olarak "yakın zırhlama" ve "uzak zırhlama" olmak üzere iki zırhlama yöntemi vardır (Shapiro, 1990).

Yakın zırhlamada; bir radyasyon kaynağı içeren madde veya kap zırhlanır. Bu yöntem alfa ve beta gibi az girici radyasyonlara uygulanır (Eifert, 1999).

Uzak zırhlama yönteminde ise; radyoaktif maddenin yakın çevresindeki alan bir zırh ile çevrilir. Bu yöntem, özellikle yüksek giricilik kabiliyeti olan radyasyonlar için kullanılır (Archer, 1995)

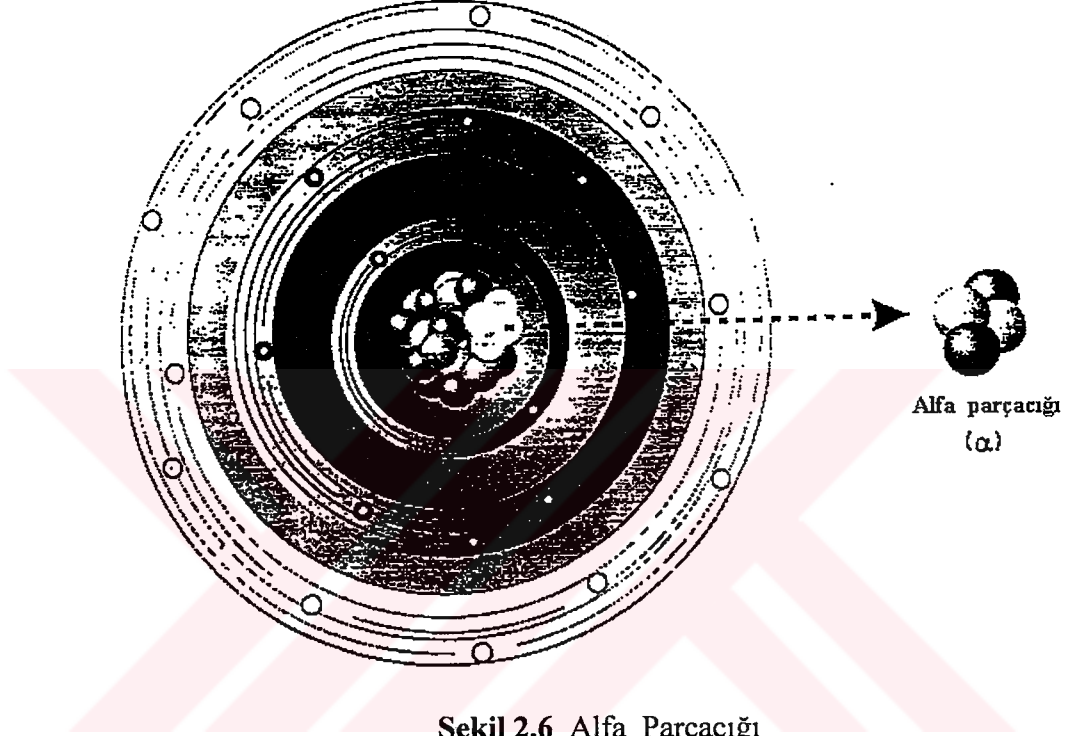
Zırhın cinsini ve kalınlığını belirleyen en önemli faktörler, radyasyonun cinsi ve enerjisidir.

Nükleer reaktörlerin zırhlanmasında, çeşitli cins ve enerjilerdeki radyasyonların durdurulması söz konusu olduğundan, çeşitli zırh malzemelerinin birlikte kullanılması gerekir (Şekil 2.5) (Powsner, 1998).



Şekil 2.5 Alfa, Beta Ve Gama Parçacıklarının Deriden Geçişleri

Alfa parçacıkları nispeten ağır ve yüklü parçacıklardır (Şekil 2.6) (Powsner, 1998). Derinin dış ölü tabakasını delip içerisine giremediklerinden dış radyasyon tehlikesi oluşturmazlar. Alfa parçacıklarını durdurmak için birkaç cm hava kalınlığı, 0,5 mm kalınlığındaki bir alüminyum levha veya kağıt tabakası yeterli olmaktadır (Powsner, 1998). İnsanların günlük elbiseleri, vücudu alfa ışınlarından korumak için etkin bir zırhlama aracı durumundadır.



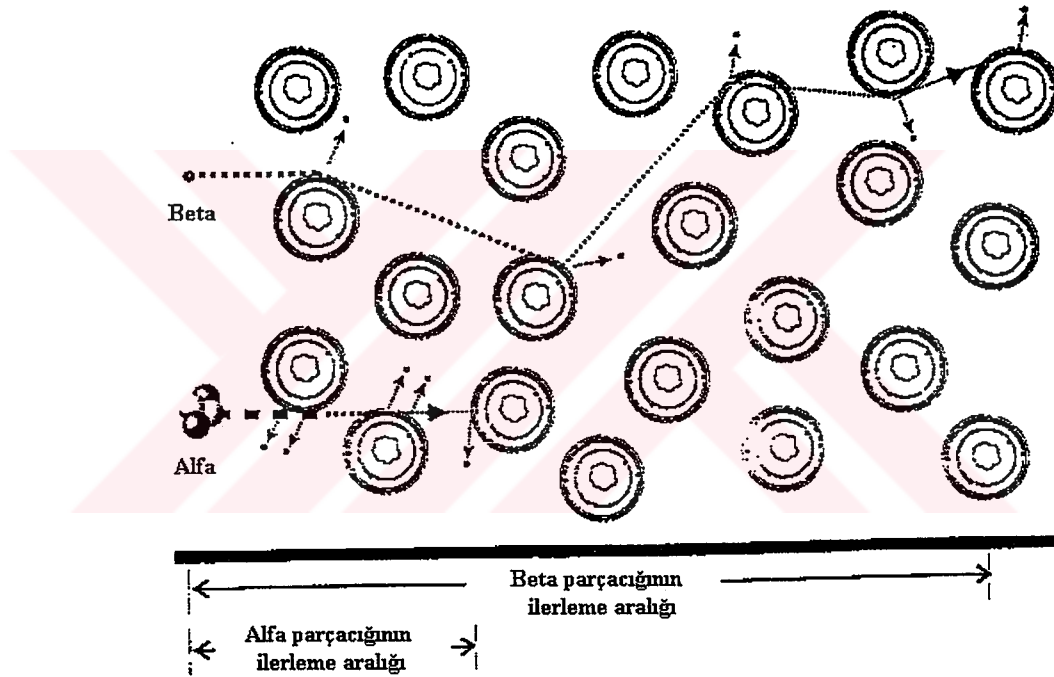
Şekil 2.6 Alfa Parçacığı

Aynı şekilde zayıf enerjili beta ışınları veren radyoizotoplar için bulundukları kabın çeperleri zırhlamada yeterli olabilmektedir (Powsner, 1998). Buna karşın, yüksek enerjili beta ışınları yayınlayan radyoizotoplar için zırhlama yapılması gerekmektedir.

Öte yandan, beta parçacıklarının zırh maddesinin atomlarıyla etkileşmesi sonucu X - ışınları yayınlanır. Yayınlanan bu X - ışınları beta parçacıklarından daha girici olduklarından zırhlamada ayrıca dikkate alınmaları gerekir (Dixon, 1998). Meydana gelen X - ışınlarının şiddeti, beta parçacıklarının enerjisine ve zırh malzemesinin atom numarasına bağlı olarak değişebilmektedir (Simpkin, 1995).

Bu bağlamda, enerjitik beta parçacıklarının atom numarası büyük maddelerle etkileşmesi sonucu, enerjitik X - ışınları yayınlanır. Bu nedenle yüksek enerjili beta parçacıklarını zırhlamada, atom numarası büyük olan çelik veya kurşun yerine, atom numarası daha küçük olan plastik veya alüminyum gibi malzemeler kullanılır.

Beta parçacıkları hava tabakasının atomları ile etkileşmeleri sonucu enerjilerini kaybedeceklerinden kaynakla kişi arasındaki hava tabakasından zırhlamada yararlanılabilir. Alfa ve beta parçacıklarının madde ile etkileşimlerine ilişkin bir şematik gösterim Şekil 2.7'de (Powsner, 1998) gösterilmektedir.



Şekil 2.7 Alfa Ve Beta Parçacıklarının Madde İle Etkileşimleri

Nötronlar yüksüz parçacıklar olduklarından çeşitli malzemeler ve insan vücudunda kolayca yol alabilirler. Yolları üzerinde doğrudan iyonizasyon meydana getirmezler. Buna karşın, saçılmaları ve absorblanmaları söz konusudur. Saçılmaları elastik ve inelastik olabilir. Absorblanmaları sonucu, iyonizasyona sebep olarak sekonder parçacık oluşumuna sebep olurlar. Bu nedenle, nükleer reaktörler ve parçacık hızlandırıcıları, etraflarındaki alanlar için önemli radyasyon sorunu teşkil ederler.

Nötronların zırhlanmasında kullanılacak zırh kalınlığı, malzemenin kimyasal birleşimine, nötronların enerjisine ve zırhın nötron kaynağına göre konumuna bağlıdır. Nötronlar, enerjilerine göre madde ile farklı etkileşimler yaparlar. Elastik veya inelastik çarpışmaların yanı sıra 2 nötron atılması, yüklü parçacıkların yayınlanması ve fisyon söz konusu olabilir.

Energileri 10 KeV ile 10 MeV arasında olan hızlı nötronlarla relativistik nötronların, radyasyon korunması bakımından madde ile önemli reaksiyonları "elastik çarpışmalar" dır. Bu durumda nötron bir atom çekirdeğine çarpar ve kinetik enerjisinin bir kısmını ona verdikten sonra, kendi geliş doğrultusunda saparak çekirdekten uzaklaşır. Bu olayda çekirdeğin fiziksel yapısı değişmez.

Nötronların atom çekirdekleri tarafından elastik çarpışmaya uğramaları mekanik enerji ve momentum korunum kanunlarına uygun bir şekilde meydana gelir. Elastik çarpışmalarda toplam kinetik enerji değişmediği halde ortalama fonksiyonel enerji kaybı (bir nötronun bir çarpışmada kaybedeceği enerji yüzdesi) (ξ);

$$\xi = (2M) / (M + 1)^2 \quad (2.2)$$

olarak bulunur (Shapiro, 1990). Burada M, nötronun çarptığı çekirdeğin kütlesidir. Denklem 2.2'den görüldüğü gibi hidrojen gibi hafif çekirdekler hızlı ve relativistik nötronların enerji kaybında (yavaşlatılmasında) en etkin atomlardır. Bu nedenle nötronları yavaşlatmak için hidrojeni bol maddelerin (su ve parafin) kullanılması gerekir.

İnelastik bir çarpışmada nötron önce çarptığı çekirdeğin içine girer ve böylece çekirdeğin yapısını değiştirmiş olur. Bu çok kısa bir zaman sürer. Nötron kinetik enerjisinin bir kısmını çekirdeğe vererek, çekirdeğin geliş doğrultusundan farklı bir doğrultuda ve gelen nötronun başlangıçta sahip olduğu kinetik enerjisinden daha küçük bir enerji ile bir nötron çekirdeği terk eder.

Orta enerjili (0,5 KeV - 10 KeV arası) ve termal (0,5 eV'den az enerjili) nötronlar için radyasyon korunması bakımından en önemli reaksiyon ise nötron absorblanmasıdır. Nötron çekirdek etkileşimi sonunda büyük bir olasılıkla nötron absorblanmasını takiben bir gama ışını yayınlanır (Shapiro, 1990). Bu reaksiyondan γ - ışınları meydana geldiğinden ayrıca γ zırhlamasına gerek olacaktır.

Bir nötron demetinde en yüksek enerjili olan nötronların belirli kalınlığa sahip bir absorblayıcının diğer yüzeyinden çıkma olasılığı daha fazladır. Bu nedenle, nötron zırh kalınlığının hesabında, sadece en yüksek enerjili olanlar için gerekli zırh kalınlığının göz önüne alınması yoluna gidilir (Shapiro, 1990). Bu şekilde, gerçekte demette var olan tüm nötronlar için gerekli zırhlama sağlanmış olur.

X ve γ - ışınları, orjinleri bakımından birbirinden farklı olup, her ikisi de kısa dalga boylu elektromanyetik dalgalardır. Gama ışınları atom çekirdeğinden yayınlanır. X - ışınları ise çekirdeği çeviren elektron bulutundan meydana gelmektedir. Farklı isimler kullanılmasının nedeni, onları meydana getiren kaynağı belirlemek içindir. X ve γ - ışınlarının durağan kütleleri sıfır olup, elektrik yükleri yoktur, ışık hızı ile yayınlanırlar.

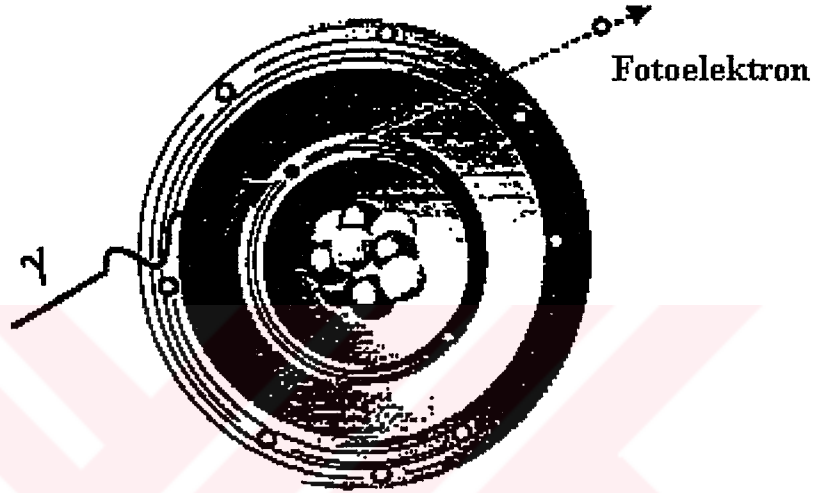
Kendilerinin elektrik yüklerinin olmamasına rağmen atomlarla etkileşimlerinde iyonizasyon meydana getirebilirler. X ve γ - ışınları etkileşimlerinde başlıca üç mekanizma ile enerji kaybederek absorblanırlar.

Bu üç mekanizma şunlardır :

- Atomun bağlı elektronları ile etkileşim (foto - elektrik olay)
- Atomun serbest veya hafifçe bağlı elektronları ile etkileşim (Compton olayı)
- Bir pozitif ve negatif elektron çifti meydana getirme yoluyla enerji transferi (çift oluşum olayı)

2.1.2.3.1. Fotoelektrik Olay

Energileri 10 KeV ile 500 KeV arasında olan düşük enerjili fotonlar için en önemli enerji kaybı mekanizmasıdır. Olayda bir foton, atomun herhangi bir enerji tabakasındaki elektronla (bağlı elektronla) çarpışır ve tüm enerjisini ona aktararak onu atomdan bir fotoelektron olarak fırlatır. Böylece bir iyon çifti meydana gelir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Fotoelektrik Olay

Fotoelektrik olay için

$$h \cdot \gamma = W + (1/2) \cdot (m \cdot v^2) \quad (2.3)$$

yazılabilir (Powsner, 1998).

Burada h Planck sabiti olmak üzere, $h \cdot \gamma$ fotonun enerjisini, W elektronun bağlanma enerjisi (elektronun çekirdeğin elektrik alanından koparılması için gereken enerji, eşik enerjisidir), m elektronun kütlesi ve v elektronun hızı olmak üzere, $(1/2) \cdot (m \cdot v^2)$ kopan elektronun (fotoelektron) kinetik enerjisini ifade etmektedir. Görüldüğü gibi, fotoelektrik olayın oluşması için foton enerjisinin bağlanma enerjisinden daha büyük olması gerekmektedir.

Fotoelektron iyonizasyona neden olur. Fotoelektronlar, tüm enerjileri tükeninceye kadar sekonder iyon çiftleri meydana getirerek yollarına devam ederler.

Fotoelektrik absorpsiyon, radyasyon enerjisinin ve içinden geçtikleri maddenin atom numarası büyüklüğünün fonksiyonudur.

Fotoelektrik absorpsiyon olasılığı (η);

$$\eta = Z^5 / E_\gamma^{7/2} \quad (2.4)$$

şeklindedir. Burada;

Z : Maddenin atom numarası

E_γ : γ Parçacığının enerjisi

olmaktadır (Williams, 1987).

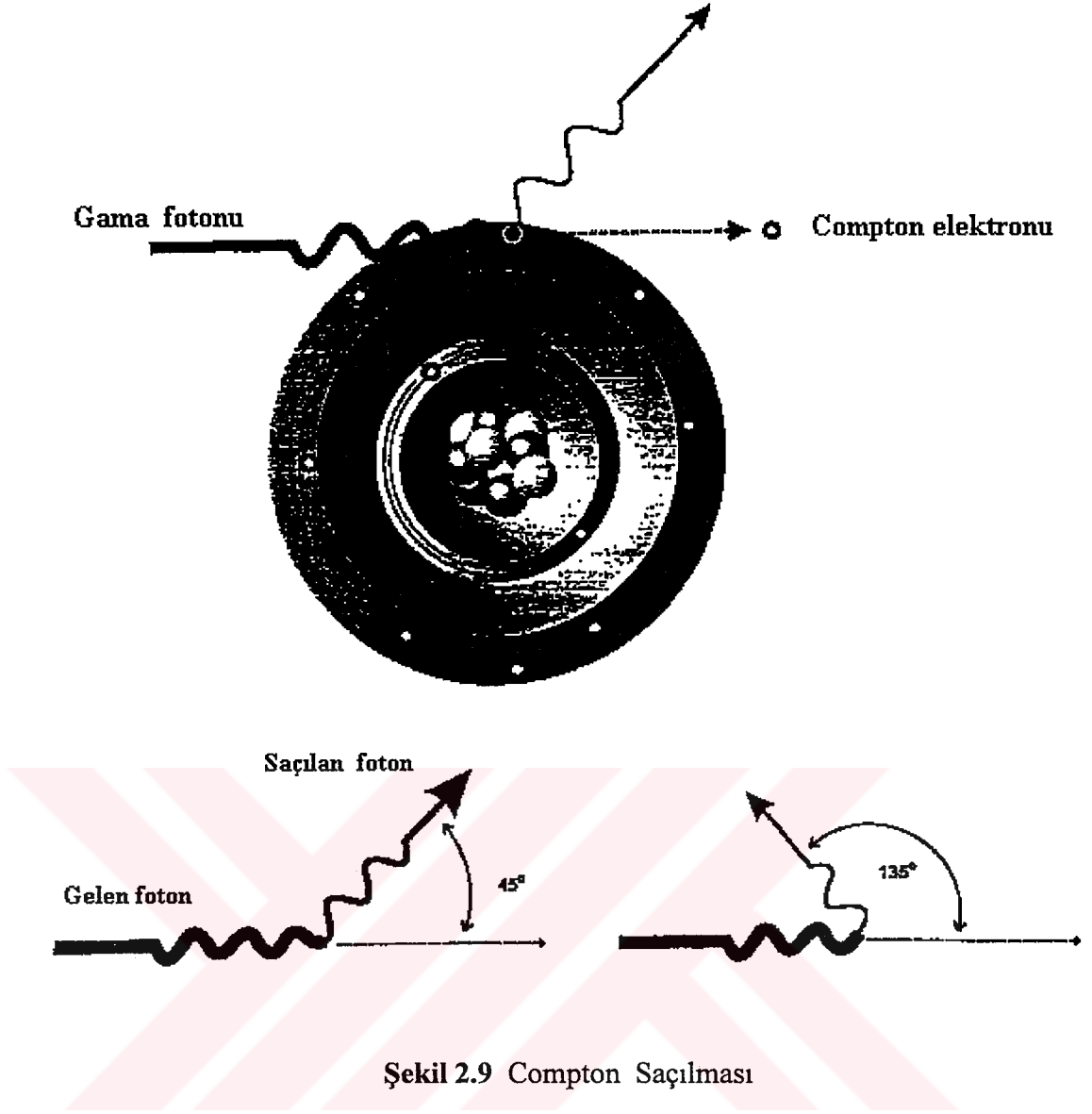
2.1.2.3.2. Compton Olayı

Bu olay daha çok orta foton enerjilerinde meydana gelmektedir (Powsner, 1998).

Burada, bir γ veya X - ışını fotonu ile bir elektronun etkileşiminde enerjisinin bir kısmını elektrona kinetik enerji olarak verir (atomun dış yörüngelerindeki bir elektrona çarpma söz konusudur). Kendisi azalan bir enerjiyle başka bir doğrultuda yayılır.

Meydana gelen yüksek enerjili elektrona "Compton elektronu" denir. Bu elektron tıpkı fotoelektron gibi sekonder iyonizasyon meydana getirir ve sonunda absorplanır.

Zayıflamış γ fotonu veya X - ışını ise ya diğer compton etkileşimleri ile enerji kaybeder veya fotoelektrik olayla absorblanarak tamamen ortadan kalkar (Şekil 2.9) (Powsner, 1998).



Compton absorpsiyonu;

$$h \cdot \gamma = h \cdot \gamma' + (1/2) (m \cdot v^2) \quad (2.5)$$

şeklinde yazılabilir (Powsner, 1998). Burada; h Planck sabiti olmak üzere $h \cdot \gamma$ gelen gama ışınının enerjisi, $h \cdot \gamma'$ giden gama ışınının enerjisi, m elektronun kütlesi ve v elektronun hızı olmak üzere $(1/2) \cdot (m \cdot v^2)$ atomdan çıkan compton elektronun kinetik enerjisidir.

Compton olayının meydana geliş olasılığı absorplayıcı madde içindeki elektronların sayısı ile orantılı olmaktadır.

Foton tarafından yerinden fırlatılan elektronlar, fotonun geliş doğrultusu ile 0° ile 90° arasındaki açılarda hareket ederler.

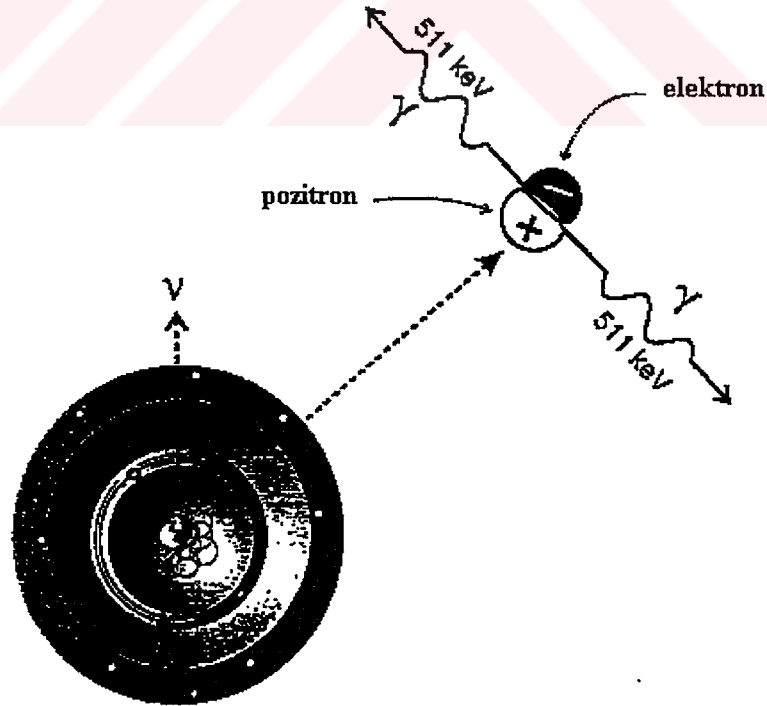
Primer ve sekonder fotonun dalga boyları arasındaki fark ($\Delta\lambda$);

$$\Delta\lambda = (h / m_0 \cdot c) \cdot (1 - \cos \theta) = 0,024 \cdot (1 - \cos \theta) \quad (\text{\AA}) \quad (2.6)$$

olarak belirtilebilmektedir. Denklem 2.5'de θ saçılma açısı olup, $\Delta\lambda$ dalga boyu farkı Angström birimi cinsinden elde edilir. $\theta = 180^\circ$ olması halinde λ' 'nin değeri en büyük olup, foton için, en fazla enerji kaybına karşılık gelmektedir. Böylece 180° ile saçılan fotonların maksimum enerjisi yaklaşık olarak 250 KeV olacaktır. Buna karşın 90° 'lik açı ile saçılan fotonların maksimum enerjisi 500 KeV civarındadır.

2.1.2.3.3. Çift Oluşumu

Energileri 1,02 MeV'in üzerinde olan yüksek enerjili fotonlarla meydana gelebilir. Çift oluşumunda yüksek enerjili gama fotonu tüm enerjisini kaybeder (Şekil 2.10) (Powsner, 1998). Çekirdekten bir pozitron yayımına sebep olur. Bu, anhilasyon radyasyon doğurur (Williams, 1987). Anhilasyon radyasyonu fotondur ayrıca iyonizasyona da sebep olur.



Şekil 2.10 Çift Oluşumu

2.2. ZIRHLAMA HESAPLARI

Paralel bir radyasyon demetinin şiddetinde Δx gibi kısa bir uzaklık için meydana gelecek şiddet azalması (ΔI), bu madde üzerine düşen radyasyon şiddeti I ve Δx ile orantılıdır. Buna göre;

$$\Delta I = - \mu \cdot I \cdot \Delta x \quad (2.7)$$

ifadesi yazılabilir (Knoll, 1979).

Burada μ katsayısı "lineer absorpsiyon katsayısı" olarak tanımlanır. Daha büyük madde kalınlıkları için bu bağıntının entegre edilmiş hali;

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x} \quad (2.8)$$

kullanılır. Burada I_0 absorblayıcı üzerine düşen, I ise absorblayıcıdan çıkan radyasyon şiddetleri, (x) absorbanın kalınlığıdır. Lineer absorpsiyon katsayısı μ ; elektromanyetik radyasyonlar için belirtilen üç ayrı enerji kaybı mekanizması için absorblanma katsayılarının toplamı şeklinde bulunur. Fotoelektrik absorpsiyon için τ , Compton absorpsiyonu için σ ve çift oluşumu için K sembolleri kullanılacak olunursa;

$$\mu = \tau + \sigma + K \quad (2.9)$$

olacaktır. Her bir olayın değeri foton enerjisine bağlı olduğundan, polikromatik radyasyonlar için μ ' nün değeri sabit olmayıp absorblayıcı kalınlığı ile değişecektir. O halde μ ' nün değeri radyasyon enerjisine ve içinden geçtiği maddeye bağlı olmaktadır (Knoll, 1979).

Gama ışınları zırh kalınlığına bağlı olarak, daima belli oranda zırhı geçerler. Denklem 2.7'de zırh kalınlığı arttıkça geçen gama ışınlarının şiddeti üstel bir şekilde azalır.

Gama ışınlarına karşı zırh kalınlığı hesaplarında biri dar diğeri geniş ışın demeti olmak üzere iki geometrik durum söz konusudur. Dar ışın demeti genel olarak noktasal bir kaynaktan çıkan ışınların kolime edilmesiyle elde edilir.

μ absorblanma katsayısı, foton enerjisi ile zırh malzemesinin atom numarasına ve yoğunluğuna bağlıdır. Lineer absorbsiyon katsayısının malzemenin yoğunluğuna bölünmesiyle "kütle absorbsiyon katsayısı" μ_m elde edilir (Segre, 1977).

$$\mu_m = \mu / \rho \quad (2.10)$$

Burada ρ malzeme yoğunluğudur.

Kütle absorbsiyon katsayıları çeşitli zırh malzemelerinin birbirlerine göre relatif etkinliklerini yansıtır. Radyasyon zırlamasında pratikte genellikle geniş demet durumuyla karşılaşmaktadır. Bu durumda saçılmış ışınlar söz konusudur.

Geniş demet durumunda absorblayıcıdan geçen ışınların şiddeti;

$$I = B \cdot I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x} \quad (2.11)$$

bağıntısı ile hesaplanır (Knoll, 1979). Burada B "büyüme faktörü" olup dar demet verilerinin geniş demet durumuna uygulanmasını mümkün kılar.

I / I_0 oranına "transmisyon" denir (Knoll, 1979). Çeşitli zırh malzemeleri ve radyasyon enerjileri için transmisyona göre zırh kalınlıklarını veren eğrilerden yararlanarak, zırh kalınlıkları hesaplanabilmektedir. Zırh kalınlıklarını hesaplamada "yarı tabaka kalınlığı" (YTK) ve "onda bir tabaka kalınlığı" (OTK) gibi değerlerden de yararlanılmaktadır (Powsner,1998).

$$YTK = 0,693 / \mu \quad (2.12)$$

$$OTK = 2,303 / \mu \quad (2.13)$$

bağıntılarından hesaplanır.

Zırhlama hesaplamaları radyasyon kaynağının geometrisine bağlı olarak farklılık arzeder. Örneğin; noktasal ve çizgisel kaynak kullanımı yaygındır.

Ayrıca ortamın yapısına göre, farklı zırhlama hesaplamaları geliştirmek gerekli olabilir.

Zırhlama hesaplamaları için çoğu kez tercih edilerek kullanılan nokta kaynak hali için farklı şartlara ilişkin geliştirilmiş analitik hesaplama modelleri aşağıdaki alt bölümler içinde tanıtılmaktadır.

2.2.1. Boşlukta Nokta Kaynak

Radyasyon kaynağı nokta kaynak ve ortam boşluk ise zırhlama hesabı;

$$D(r) = (S_p \cdot R) / (4 \cdot \pi \cdot r^2) \quad (2.14)$$

şeklindedir (Shultis ve Faw, 1996). Burada;

S_p : Kaynağın aktivitesi

R : Dedektörün ölçüm faktörü

r : Kaynak ile nokta arası uzaklık

ifade edilmektedir.

2.2.2. Homojen Yavaşlatıcı Ortamda Nokta Kaynak

Radyasyon kaynağı nokta kaynak ve ortam homojen yavaşlatıcı ise zırhlama hesabı;

$$D(r) = (S_p \cdot R \cdot e^{-\mu \cdot r}) / (4 \cdot \pi \cdot r^2) \quad (2.15)$$

şeklindedir (Shultis ve Faw, 1996). Burada tanımlanmış notasyonlara ilaveten;

μ : Absorplanma katsayısını

temsil etmektedir.

2.2.3. Zırh Malzeme İçinde Nokta Kaynak

Radyasyon kaynağı nokta kaynak ve ortam birden fazla homojen malzemeden oluşmuş zırh ise zırhlama hesabı;

$$D(r) = (S_p \cdot R \cdot e^{-\mu \cdot t}) / (4 \cdot \pi \cdot r^2) \quad (2.16)$$

$$D(r) = (S_p \cdot R \cdot \exp[-\sum_{i=1}^n \mu_i \cdot t_i]) / (4 \cdot \pi \cdot r^2) \quad (2.17)$$

şeklindedir (Shultis ve Faw, 1996). Burada tanımlanmış notasyonlara ilaveten;

μ_i : i'inci malzemenin absorblanma katsayısını

t_i : i'inci zırhın kalınlığını

ifade etmektedir.

2.2.4. Heterojen Ortamda Nokta Kaynak

Radyasyon kaynağı nokta kaynak ve ortam heterojen ise zırhlama hesabı;

$$D(r) = [S_p \cdot R \cdot \exp(-L)] / (4 \cdot \pi \cdot r^2) \quad (2.18)$$

şeklindedir (Shultis ve Faw, 1996). Burada tanımlanmış notasyonlara ilaveten;

L : Malzemelerin toplam ortalama serbest yol uzunluğunu

temsil etmektedir.

2.2.5. Homojen Ortamda Çok Enerjili Nokta Kaynak

Radyasyon kaynağı çok enerjili ve ortam homojen ise zırhlama hesabı;

$$D(r) = \sum_{i=1}^N (S_p \cdot f \cdot R(E_i) \cdot e^{-\Sigma \mu(E) \cdot t}) / (4 \cdot \pi \cdot r^2) \quad (2.19)$$

şeklindedir (Shultis ve Faw, 1996). Burada tanımlanmış notasyonlara ilaveten;

f : Gecikme zaman faktörü

E_i : Çok enerjili kaynağın enerjileri

N : Radyasyon kaynağının enerji sayısı

ifade etmektedir.

2.2.6. Heterojen Ortamda Çok Enerjili Nokta Kaynak

Radyasyon kaynağı çok enerjili ve ortam heterojen ise zırhlama hesabı;

$$D(r) = \sum_{i=1}^N (S_p \cdot f_i \cdot R(E_i) \exp[-\int_0^r ds \mu(s_i, E_i)]) / (4 \cdot \pi \cdot r^2) \quad (2.20)$$

şeklindedir (Shultis ve Faw, 1996). Burada tanımlanmış notasyonlara ilaveten;
 s_i : Heterojen ortamın ortalama serbest yol uzunluğu değişkenini temsil etmektedir.

2.3. ZIRHLAMADA KULLANILAN MALZEMELER

Zırhlama amacıyla radyasyon tipine göre farklı malzemeler kullanılmaktadır. Zırh malzemelerinden beklenen bazı özellikler söz konusudur.

2.3.1. Zırh malzemelerinden beklenen özellikler

Zırh malzemelerinden beklenen bu özelliklerin başlıcaları olarak;

- Radyasyon zayıflatma
- İyi ısı iletkenliği
- Radyasyon mukavemeti
- Ekonomiklik

sayılabilir.

2.3.1.1. Radyasyon zayıflatma

Zırh malzemeleri, radyasyonun parçacık veya girici elektromanyetik radyasyon ailesinin elemanı olmasına bağlı olarak değişik etkileşmelerle radyasyon şiddetini zayıflatırlar.

Bu mekanizmalar önceki alt bölümlerde detay ile anlatılmıştı. Bu durum, farklı radyasyon tipleri için farklı malzemelerin öne çıkabileceği sonucunu doğurmaktadır (Etherington, 1958).

2.3.1.2. İyi ısı iletkenliği

Radyasyonla etkileşim sonucunda zırh malzemesinin çevreye enerji (ısı) vermesi söz konusudur. Bu ısı, iletim yolu ile malzemedan dışarı atılması gerekir. Aksi halde zırh malzeme yapısının bozulması söz konusu olabilir.

Bu bakımdan zırh malzemesinin ısı iletim kapasitesi önem arz etmektedir (Etherington, 1958).

2.3.1.3. Radyasyon mukavemeti

Radyasyonun malzeme yapısı üzerine negatif etkileri vardır. Uzun süreli ışınlamalarda bu negatif etkinin malzeme üzerindeki hasarı da artmaktadır. Özellikle yorulma olayı oluşmakta ve malzemelerin mukavemeti zamanın fonksiyonu olarak azalmaktadır.

Kullanılacak malzemenin uzun süreli ışınlamalara karşı dayanıklı olması tercih edilmelidir. Özellikle kaynak, yakın bir mesafedeyse bu özellik hangi zırh malzemesinin seçileceğini belirleyen faktör durumundadır.

2.3.1.4. Ekonomiklik

Zırh malzemesi büyük yapılar için kullanılacaksa, ekonomiklik önem taşımaktadır. Birçok mühendislik çözümünde olduğu gibi, burada da, ekonomik optimizasyon söz konusudur.

2.3.2. Bazı Zırh Malzemeleri

Zırhlama amacı ile farklı elemanların kullanımı söz konusudur. γ - zırhlayıcı malzemeler olarak kullanılabilecek elementler olarak; Civa, Kurşun, Uranyum, Tungsten, Bizmut, Demir-Çelik sayılabilir.

Nötron zırhlayıcı malzemeler olarak da su, beton gibi malzemeler kullanılabilmektedir (Shapiro, 1990).

Zırhlama elemanlarından önemlileri aşağıda kısaca tanıtılmıştır.

Su : Su doğal bir zırh malzemesidir. Yeterince kalın kullanılırsa yeterli zırhlama sağlar. Su ile gama ve nötron zırhlanabilir.

Toprak : Doğal bir eleman olan toprağın absorpsiyon tesir kesiti hayli yüksektir. Toprağın ortalama kütle numarası da yüksektir. Bu nedenle iyi bir gama zırhlayıcısıdır. Toprakta 92 doğal element bulunmaktadır. Toprak bu özelliğiyle genel bir zırhlama malzemesi olarak kullanılabilir. Ancak, harfiyat sorunu dezavantajdır.

Civa : Sıvı bir elementtir. Bu nedenle büyük boyutlarda zırhlayıcı malzeme olarak kullanılmaz.

Kurşun : En çok kullanılan zırh elementlerinden biridir. İyi bir zırhlayıcıdır. Fakat ergime noktasının düşüklüğü ve buharlarının zehirli oluşu dezavantajdır.

Uranyum : Co - 60 için tercih edilen bir zırh elementidir. Uranyum α aktif bir elementtir. Ayrıca Uranyum deforme olabilir. Bu nedenle etrafında paslanmaz çelik çevreleyici eleman kullanılmaktadır (Etherington, 1958).

Tungsten : Zırhlama elemanı olarak kullanılabilir ağır bir elementtir. Pahalı bir malzemedir. Genellikle bu nedenle tercih edilmez.

Bizmut : Gamayı zırhlayabilen, buna karşın nötron için transparan olan bir elementtir. Özel bir malzemedir. Özellikle nötrografi kolimatörlerinde kullanılmaktadır (Etherington, 1958).

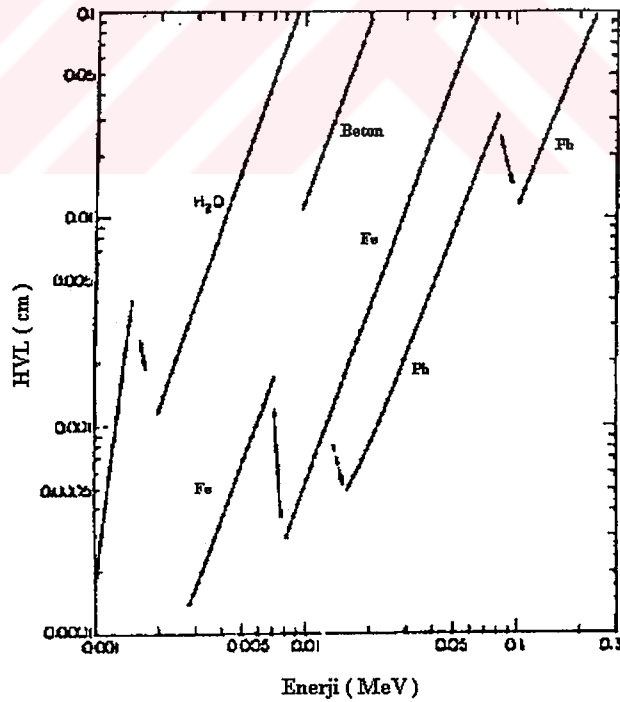
Beton : Zırhlamada ağır beton kullanılmaktadır (Shapiro, 1990). Günlük kullanılan betonların ortalama yoğunluğu düşüktür. Ağır betonun yoğunluğu 3 gr / cm^3 civarında veya üstündedir. Bunu için beton harcının içine ağırlaştırıcı demir ve cevheri tarzında elemanlar eklenir. Böylelikle zırhlamada daha etkin bir yapı elde edilir.

Çelik : Çelikler zırhlama malzemesi olarak özellikle girici elektromanyetik radyasyona karşı zırhlamada tercih edilen malzemelerdir. Zırhlama yapılarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Shapiro, 1990). Bu Yüksek Lisans Tez konusu, esas itibariyle çeliklerle ilgili olduğundan bu konu ayrı bir bölüm halinde ele alınacaktır.

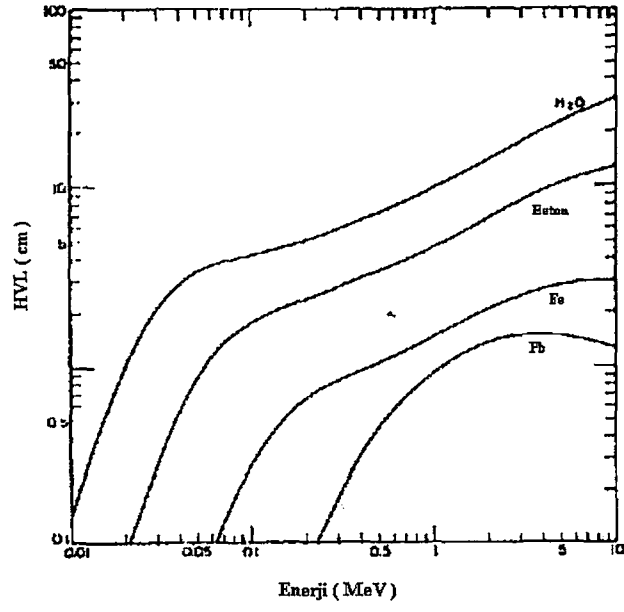
2.3.3. Zırh Malzemelerinin Genel Özellikleri

Radyasyon tipine bağlı olarak farklı zırh malzemesi tercihleri söz konusu olmakla birlikte, günümüzde bazı malzemeler genel zırh malzemeleri olarak nitelenmektedir. Bunlar arasında su, beton, çelik, kurşun öncelikle sayılabilir (Shapiro, 1990). Söz konusu malzemelerin birbirine göre mukayesesi için çoğu kez yarı-kalınlık değeri [Half-Value Layer (HVL)] kullanılmaktadır.

Farklı malzemelerin farklı enerjilere karşılık gelen yarı-kalınlık değerlerine ilişkin grafikler Şekil 2.11'de farklı enerji aralıkları için verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 2.11 Farklı Malzemelerin Farklı Enerjilere Karşılık Gelen Yarı-Kalınlık Değerleri (Shapiro, 1990)

BÖLÜM 3

ÇELİKLER

3.1. ÇELİKLERİN TANITIMI VE FAZ DİYAGRAMI

3.1.1. Çeliklerin Tanıtımı

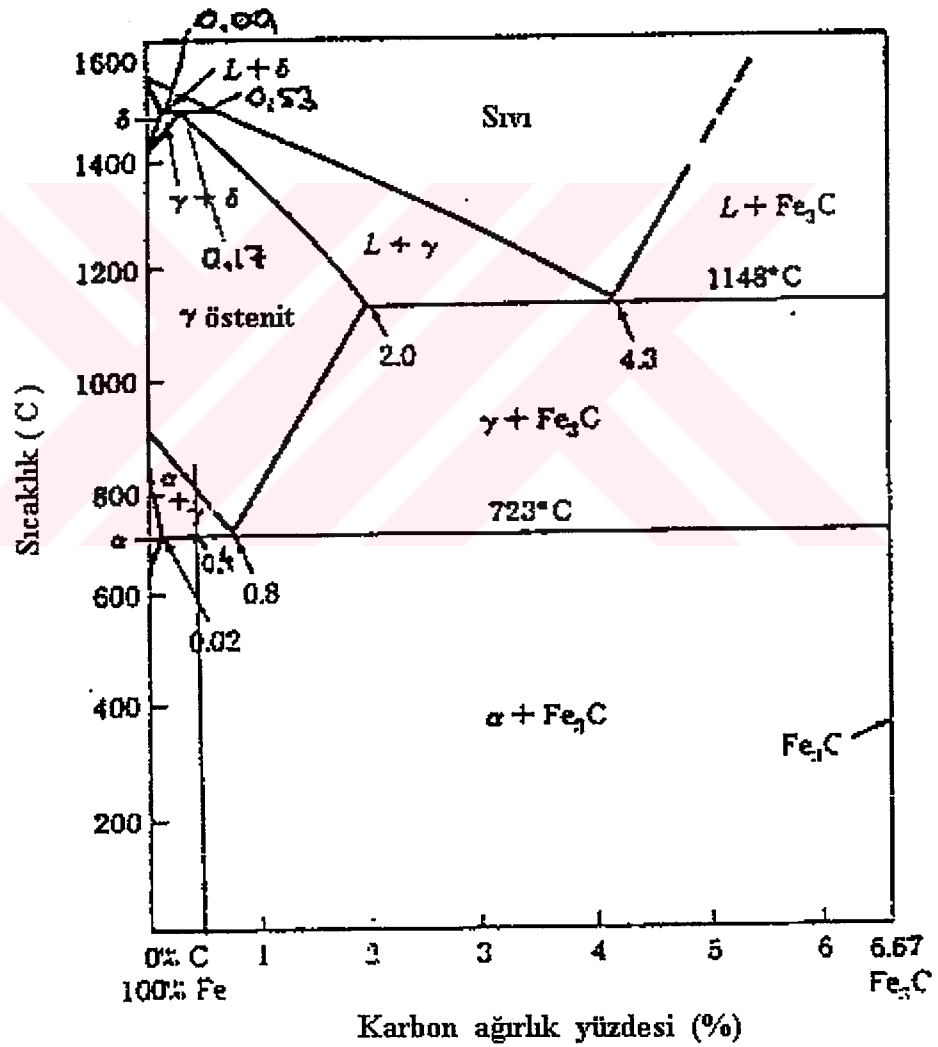
Demir filizinden yüksek fırında elde edilen ham demir (pik demiri) günümüzde genellikle doğrudan doğruya kullanılmamaktadır. Örneğin; kupol ocağında tekrar eritilip, gerekli katkıları yapıldıktan sonra istenilen şekil verilmek üzere kalıplara dökülmektedir (dökme demir) (Guy, 1959).

Ham demirde yaklaşık olarak % 4 ağırlık oranında bulunan karbon çeşitli yöntemlerle % 2'nin altına düşürülerek çelik elde edilmektedir. Çeliği dökme demirden ayıran en önemli özellik (karbon miktarından başka), herhangi bir ek işleme gerek olmaksızın sıcak veya soğuk dövülerek şekil almasıdır (Guy, 1959). Ayrıca çeliğe döküm yoluyla şekil vermek de mümkündür. (dökme çelik)

Çelik üretimi çeşitli yollardan yapılabilir. Sıvı ham demirdeki karbon, manganez ve silisyum gibi diğer elemanlar, bazik astarlı Thomas (veya asit astarlı Bessemer) konverterinin dibinden üflenen havanın oluşturduğu FeO yardımıyla oksitlenerek, büyük ölçüde gaz veya cüruf haline (takriben 15 dakikada) geçerler. Eriyikte kalan bir miktar FeO 'in kısmen giderilmesi için ise Mn ilave edilmektedir. (dezoksidasyon) Kokilde dökülen sıvı katılaşırken, özellikle kalan FeO 'in karbonla reaksiyona girip gaz çıkışını kuvvetlendirmesi nedeniyle, kaynama olmaktadır. Buna "sakinleştirilmemiş çelik" adı verilmektedir (Guy, 1959).

3.1.2. Faz Diyagramı

Katı çözelti dışında kalan tüm karbonun demirle metaller arası bileşik (Fe_3C) oluşturmaya veya tamamen serbest bir başka deyişle grafit halinde bulunmasına göre, bu iki sınır durumunu yansıtan Fe - Fe_3C veya Fe - C (grafit) faz diyagramlarından çelik ve dökme demirlerin incelenmesinde büyük ölçüde yararlanılır. Çok yavaş soğutulmuş demir - karbon alaşımlarında çeşitli bileşim ve sıcaklıklarda % 6,67 karbona kadar meydana gelen fazlar Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Demir - Demir Karbür Faz Diyagramı

Bir bileşimin içindeki elementlerin ağırlık olarak yüzdesini bulabilmek için aşağıdaki bağıntı kullanılır;

$$(\text{İstenilen elementin atom ağırlığı} / \text{Bileşimin toplam ağırlığı}) \cdot 100 \quad (3.1)$$

Demirin atom ağırlığı 56, karbonun atom ağırlığı 12 olduğundan, Fe_3C bileşiminde ağırlık olarak, %6.67 karbon oranı bundan kaynaklanmaktadır.

Oluşan demir karbür (Fe_3C) fazı gerçek bir denge fazı olmadığından şeklindeki faz çizgisi de bir denge çizgisi değildir.

Fe - Fe_3C faz diyagramı şu katı fazları içerir;

- α ferrit; bu faz kübik hacim merkezli (KHM) demir kristali kafesinde karbonun arayer katı çözeltisidir. Fe - Fe_3C faz çizgesinde gösterildiği gibi karbon α ferritte çok az çözünmekte, en yüksek çözünürlük olan % 0,02 değerine 723°C 'ta ulaşmaktadır. Karbonun α ferritteki çözünürlüğü 0°C 'ta % 0,005'e düşmektedir.

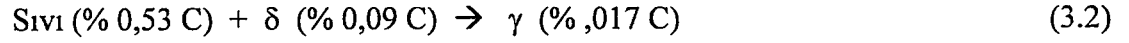
- Östenit (γ) ; karbonun γ demirindeki arayer katı çözeltisi östenit olarak adlandırılmaktadır. Kübik yüzey merkezli (KYM) kristal yapısına sahip olan östenitte karbonun katı çözünürlüğü çok daha yüksektir. Karbonun östenitteki katı çözünürlüğü 1148°C 'ta en yüksek % 2,08 değerine ulaşmakta ve 723°C 'ta % 0,8'e düşmektedir.

- Sementit (Fe_3C); Fe_3C metaller arası bileşiği sementit olarak adlandırılmaktadır. Önemsiz çözünürlük sınırına sahip olan sementitin bileşimi % 6,67 karbon ve % 93,3 Fe'dir. Sementit sert ve gevrek bir bileşiktir.

- δ ferrit ; karbonun δ demirindeki arayer katı çözeltisi δ ferrit olarak adlandırılmaktadır. α ferrit gibi hacim merkezli (KHM) kristal yapısında fakat daha büyük bir kafes sabitine sahiptir. Karbonun δ ferritteki en yüksek katı çözünürlüğü 1465°C 'ta % 0,09 olmaktadır.

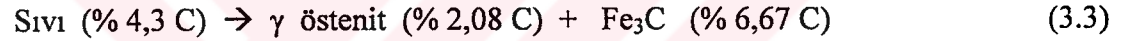
Fe - Fe₃C faz diyagramındaki bağılı tepkimeler şunlardır ;

- Peritektik tepkime; peritektik tepkime noktasında % 0,53 C içeren sıvı, %0,09 C içeren δ ferrit ile birleşerek, % 0,17 içeren γ östeniti oluşturmaktadır. 1465 °C'ta meydana gelen bu tepkime şu şekildedir;



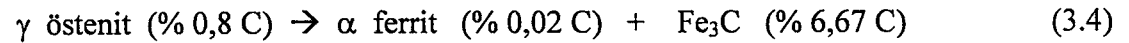
δ ferrit bir yüksek sıcaklık fazı olduğundan, alaşımsız karbon çeliklerinde, düşük sıcaklıklarında görülmez.

- Ötektik tepkime; ötektik tepkime noktasında % 4,3 C'lu sıvı % 2,08 C'lu γ östeniti ve % 6,67 C içeren Fe₃C (sementit) metaller arası bileşiğini oluşturur. 1148 °C'ta meydana gelen bu tepkime şu şekildedir;



Bu tepkime, karbon miktarları çok düşük olduğundan alaşımsız karbon çeliklerinde görülmez (Smith, 1981).

- Ötektoid tepkime ; ötektoid tepkime noktasında % 0,8 C'lu katı östenit % 0,02 C'lu α ferrit ve % 6,67 C'lu Fe₃C (sementit) oluşturur. 723 °C'ta meydana gelen tepkime şu şekildedir;



Tümüyle katı halde meydana gelen bu tepkime alaşımsız karbon çeliklerinin bazı ısıl işlemlerinde önemlidir. % 0,8 C içeren alaşımsız karbon çeliği ötektoid olarak adlandırılır. Bunun nedeni, bu bileşimdeki östenitin yavaşça ötektoid sıcaklığın altına soğutulması halinde tamamı α ferrit ve Fe₃C 'den oluşan bir yapının oluşmasıdır. Alaşımsız karbon çeliğin % 0,8'den az karbonu olması halinde "ötektoid altı" çelik, % 0,8'den fazla karbonu olması halinde "ötektoid üstü" çelik adı verilir (Smith, 1981).

Bazı koşullarda, Fe_3C (sementit) bozunarak daha kararlı demir ve karbon (grafit) fazlarına dönüşür. İki diyagram arasında seimentitin yerini grafitin alması ve küçük ötelemeler dışında temel reaksiyonlar bakımından bir fark yoktur (Smith, 1981). Çelikler genellikle grafitleşme göstermezler (Smith, 1981). Dolayısıyla Fe - C (grafit) diyagramı özellikle dökme demirler için önem taşır. Uygulamada birçok durum için Fe_3C kararlı olduğundan çelikler için Fe - Fe_3C diyagramı kullanılmaktadır (Smith, 1981).

3.2. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

Çelikler çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir (Davis, 1996). Bu sınıflandırmalar;

- Kimyasal yapısına göre;
(karbon, az alaşımlı, paslanmaz çelik)
 - İmalat metodu göre;
(basit oksijen işlemi ile elde edilen, elektrik ocak (fırın) metodu ile elde edilen çelik)
 - Bitirim aşamasına göre;
(sıcak ve soğuk haddeleme çelikleri)
 - Üretim yapısına göre;
(çubuk, levha, tabaka, şerit, tüp çelikleri)
 - Deoksidasyon ürününe göre;
(öldürücü, yarı öldürücü çelikler)
 - Mikro yapısına göre;
(ferritik, pearlitik, martensitik çelikleri gibi)
 - Mukavemet dayanımına göre;
(ASTM standardı çelikleri gibi)
 - Isıya karşı davranışına göre;
(tavlama giderme, dövme çelikleri gibi)
 - Kalite tanımlarına göre;
(demir dövülme kalitesi ve ticari kalite standartları çelikleri gibi)
- yapılabilir.

Mekanik özelliklerden ayrı olarak kimyasal yapıda, çeliklerin sınıflandırılmasında ve gösteriminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çeliklerin gösterimi için kullanılan yaygın iki sistem bulunmaktadır (Davis, 1996). Bunlar; SAE (Society of Automotive Engineer's) - AISI (American Iron and Steel Institute) ve UNS (Unified Numbering System). Gerçekte bu iki sistem tanım ve orijin olarak birbirine yakın olarak ta nitelenebilir (Davis, 1996).

3.2.1. SAE - AISI Sistemi

Bu sistem nümerik bir indeksleme sistemi olup işlenmiş karbon çelikleri, alaşımlı ve paslanmaz çeliklerin gösterimi için kullanılır (Davis, 1996). Bu sistem yarı - bitirilmiş dövme, sıcak tavlama, soğuk bitirilmiş çubuk, telgraf teli çubuğu, dikişsiz boru biçiminde parçalar, yapısal olarak levhalar, şeritler ve birbirine kaynak yapılmış borular için kullanılabilir.

Standart alaşımlı ve karbon çelikleri için kimyasal yapılarına göre 4'lü sayı sistemi kullanılmaktadır (Davis, 1996). Ancak, alaşımlı çeliklerde bu sayı 5'e çıkabilmektedir. Bu beşinci sembol genellikle bir harf olup çelik hakkında ekstra bilgi vermektedir. Eklenen harf "E" ise bu çeliğin basit elektrik ocağı (fırını) yöntemiyle yapıldığını göstermektedir. Eklenen harf "H" ise çeliğin sertleştirilebildiğini göstermektedir. 4'lü sistemin son iki basamağı ve 5'li sistemin son üç basamağı ise bize ortalama karbon miktarı hakkında bilgi vermektedir (Davis, 1996).

Örnek verirsek 1035'teki 35 bize karbon miktarının % 32 ile % 38 'in ortalaması olduğunu gösterir. Bir başka örnek E52100 'deki 100 bize karbon miktarının % 98 ile % 1,10'in ortalaması olduğunu gösterir.

3.2.2. UNS Sistemi

Bu sistem; ASTM, SAE, birçok teknik kurum, üretim organizasyonu ve birleşmiş milletler kurumları tarafından geliştirilmiştir. UNS sisteminde 5'li sistemi takiben bir harf eki daha kullanılmaktadır. Bu harfler alaşımları sınıflandırmaktadır (Davis, 1996).

Örnek verirse "G" harfi karbon ve alaşımlı çelik sınıfı için kullanılır. Bu harf kullanımı UNS sistemi ile SAE - AISI sistemi arasında birleştirme yapmaktadır. Bu birleştirme;

$$G10100 \rightarrow UNS = 1010 \rightarrow SAE - AISI \quad (3.5)$$

şeklindedir.

3.3. ZIRHLAMADA KULLANILAN ÇELİKLERİN TANITIMI

Zırhlamada yaygın olarak kullanılan bir çelik tipi AISI karbon çelikleridir. Bu Yüksek Lisans tezinde, zırhlamada önemli yeri olan AISI karbon çelikleri ile çalışılması hedeflendiğinden burada özellikle bu çeliklerin tanıtımı yapılmaktadır.

AISI, karbon çeliklerini; içinde krom, kobalt, niobyum, molibden, nikel, titanyum, tungsten, vanadyum, zirkonyum bulunmayan, maksimum mangan miktarı % 1,65, silikon miktarı % 0,60, bakır miktarı ise % 0,60 olarak tanımlamaktadır (Davis, 1996).

Karbon çelikleri, çeşitli deoksidasyon uygulamalarına göre sınıflandırılabilir (yarı-öldürücü, öldürücü gibi). Deoksidasyon uygulamaları ve çeliğin yapım işlemleri, çeliğin karakteristiklerini ve özelliklerini etkilemektedir. Karbon değişimi mekanik özellikleri önemli bir şekilde etkilemekte, karbon miktarı artışı ise sertleştirilebilmeyi ve mukavemeti arttırmaktadır (Davis, 1996). Karbon çelikleri genellikle karbon miktarıyla sınıflandırılmaktadır (Davis, 1996). Ancak toplam alaşım elementleri % 2'yi aşmamaktadır. Karbon çelikleri başlıca 3 kategoriye ayrılarak incelenmektedir. Bunlar;

- Az karbonlu çelikler

Karbon miktarı % 0,30 C 'dan az olan karbonlu çelikler

- Orta karbonlu çelikler

Karbon miktarı % 0,30 - % 0,60 C arasında olan karbonlu çelikler

- Çok karbonlu çelikler

Karbon miktarı % 0,60 - % 1,00 C arasında olan karbonlu çelikler

Karbonlu çelikler toplu olarak Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

3.3.1. Karbon çeliklerinin SAE - AISI gösterimi

Bölüm 3.2 içinde SAE - AISI sınıflandırma sistemi tanıtılan çelikler tanıtılan sistematik içinde ilk rakam çelikleri ve sonraki simgeler karbonlu çeliklerin özelliklerini belirtmektedir. Bu durumda karbonlu çelikler için genel SAE - AISI gösterimi X, çeliğin özellik simgesi olmak üzere 1XXX olarak betimlenebilir. Tablo 3.1'de gösterilen 1XXX grubu SAE - AISI çeliklerine ilişkin bilgiler bir araya toplanmıştır. Bu sistemde, çelikler 4 ana gruba ayrılır;

- Karbon çelikleri (max. Mn % 1,00); 10XX grubu Tablo 3.2'de listelenmiştir. Bu listede çeliklerin kimyasal yapısının limitleri ve aralığı üretim şekillerine göre verilmiştir. İkinci ile üçüncü basamak arasındaki "B" harfi % 0,0005 - 0,003 oranında boron olduğunu, "L" harfi ise % 0,15 - 0,35 oranında kurşun olduğunu gösterir.
- Genel yapım çelikleri; 11XX ve 12XX grubu çeliklerdir.
- Karbon çelikleri (% 1,0 - 1,65 Mn); 15XX grubu çeliklerdir.
- H çelikleri; çeliklerin sertleştirilebilme özelliklerinin limitleri ve sınırları kimyasal yapılarıyla tamamen bağlantılıdır. Sertleştirilebilme özelliği olanları aynı kimyasal yapıları olanlardan ayırmak için H eki kullanılmaktadır .

3.3.2. SAE - AISI Karbon çeliklerinin kullanılışı ve karakteristikleri

SAE J412 "Çeliklerin genel karakteristikleri ve sıcaklık mukavemeti" (Davis, 1996) standartlarına göre karbon çelikleri (10XX ve 15XX) çelikleri 4 gruba ayrılmıştır :

- Grup 1 : 1005 , 1006 , 1008 , 1010 , 1012 , 1013
- Grup 2 : 1015, 1016, 1017, 1018, 1019, 1020, 1021, 1022, 1023, 1025, 1026, 1029, 1513, 1522, 1524, 1526, 1527
- Grup 3 : 1030, 1035, 1037, 1038, 1039, 1040, 1042, 1043, 1044, 1045, 1046, 1049, 1050, 1053, 1536, 1541, 1548, 1551, 1552
- Grup 4 : 1055, 1059, 1060, 1065, 1069, 1070, 1074, 1075, 1078, 1080, 1085, 1086, 1090, 1095, 1561, 1566

Bu çeliklerin karakteristikleri birbirine hayli yakındır.

Tablo 3.1

SAE - AISI sistemine göre karbon ve alaşımlı çeliklerin gösterimi

Çelik Tipleri ve Numaralandırma Sistemleri	% Alaşım madde miktarı ve cinsi	Çelik Tipleri ve Numaralandırma Sistemleri	% Alaşım madde miktarı ve cinsi
Karbon Çelikleri		Nikel - Krom - Molibden Çelikleri	
10xx	Max Mn 1.00	43xx	Ni 1.82 ; Mo 0.25 Cr 0.50 , 0.80
11xx		43BVxx	Ni 1.82 ; V min .003 Cr 0.50 ; Mo 0.12 , 0.25
12xx		47xx	Ni 1.05 ; Cr 0.45 Mo 0.20 , 0.35
15xx	Max Mn 1.00 - 1.65	81xx	Ni 0.30 ; Cr 0.40 ; Mo 0.12
Mangan Çelikleri		86xx	Ni 0.55 ; Cr 0.50 ; Mo 0.20
13xx	Mn 1.75	87xx	Ni 0.55 ; Cr 0.50 ; Mo 0.25
Nikel Çelikleri		88xx	Ni 0.55 ; Cr 0.50 ; Mo 0.35
23xx	Ni 3.50	93xx	Ni 3.25 ; Cr 1.20 ; Mo 0.12
25xx	Ni 5.00	94xx	Ni 0.45 ; Cr 0.40 ; Mo 0.12
Nikel - Krom Çelikleri		97xx	Ni 0.55 ; Cr 0.20 ; Mo 0.20
31xx	Ni 1.25 ; Cr 0.65 , 0.80	98xx	Ni 1.00 ; Cr 0.80 ; Mo 0.25
32xx	Ni 1.75 ; Cr 1.07	Krom Çelikleri	
33xx	Ni 3.50 ; Cr 1.50 , 1.57	50xx	Cr 0.27 , 0.40 , 0.50 , 0.65
34xx	Ni 3.00 ; Cr 0.77	51xx	Cr 0.80 , 0.87 , 0.95 , 1.00
Molibden Çelikleri		50xx	Cr 0.50 ; min C 1.00
40xx	Mo 0.20 , 0.25	50xx	Cr 1.02 ; min C 1.00
44xx	Mo 0.40 , 0.52	50xx	Cr 1.45 ; min C 1.00
Nikel - Molibden Çelikleri		Krom - Vanadyum Çelikleri	
46xx	Ni 0.85 , 1.82 Mo 0.20 , 0.25	61xx	Cr 0.60 , 0.80 , 0.95 V 0.10 , 1.05
48xx	Ni 3.50 ; Mo 0.25	Silikon - Mangan Çelikleri	
Tungsten - Krom Çelikleri		92xx	Si 1.40 , 2.00 ; Cr 0.65 Mn 0.65 , 0.82 , 0.85
72xx	W 1.75 ; Cr 0.75	Krom - Molibden Çelikleri	
		41xx	Cr 0.50 , 0.80 , 0.95 Mo 0.12 , 0.20 , 0.25 , 0.30

Tablo 3.2
Karbonlu Çeliklerin Gösterimi

Numaralandırma Sistemi		Kimyasal madde (%) aralığı ve limitleri			
UNS	SAE - AISI	C	Mn	P max.	S max.
G10050	1005	0.06 max.	0.35 max.	0.040	0.050
G10060	1006	0.08 max	0.25 - 0.40	0.040	0.050
G10080	1008	0.10 max	0.30 - 0.50	0.040	0.050
G10100	1010	0.08 - 0.13	0.30 - 0.60	0.040	0.050
G10120	1012	0.10 - 0.15	0.30 - 0.60	0.040	0.050
G10130	1013	0.11 - 0.16	0.50 - 0.80	0.040	0.050
G10150	1015	0.13 - 0.18	0.30 - 0.60	0.040	0.050
G10160	1016	0.13 - 0.18	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10170	1017	0.15 - 0.20	0.30 - 0.60	0.040	0.050
G10180	1018	0.15 - 0.20	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10190	1019	0.15 - 0.20	0.70 - 1.00	0.040	0.050
G10200	1020	0.18 - 0.23	0.30 - 0.60	0.040	0.050
G10210	1021	0.18 - 0.23	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10220	1022	0.18 - 0.23	0.70 - 1.00	0.040	0.050
G10230	1023	0.20 - 0.25	0.30 - 0.60	0.040	0.050
G10250	1025	0.22 - .028	0.30 - 0.60	0.040	0.050
G10260	1026	0.22 - .028	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10290	1029	0.25 - 0.31	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10300	1030	0.28 - 0.34	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10350	1035	0.32 - 0.38	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10370	1037	0.32 - 0.38	0.70 - 1.00	0.040	0.050
G10380	1038	0.35 - 0.42	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10390	1039	0.37 - 0.44	0.70 - 1.00	0.040	0.050
G10400	1040	0.37 - 0.44	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10420	1042	0.40 - 0.47	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10430	1043	0.40 - 0.47	0.70 - 1.00	0.040	0.050

Numaralandırma Sistemi		Kimyasal madde (%) aralığı ve limitleri			
UNS	SAE - AISI	C	Mn	P max.	S max.
G10440	1044	0.43 - 0.50	0.30 - 0.60	0.040	0.050
G10450	1045	0.43 - 0.50	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10460	1046	0.43 - 0.50	0.70 - 1.00	0.040	0.050
G10490	1049	0.46 - 0.53	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10500	1050	0.48 - 0.55	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10530	1053	0.48 - 0.55	0.70 - 1.00	0.040	0.050
G10550	1055	0.50 - 0.60	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10590	1059	0.55 - 0.65	0.50 - 0.80	0.040	0.050
G10600	1060	0.55 - 0.65	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10640	1064	0.60 - 0.70	0.50 - 0.80	0.040	0.050
G10650	1065	0.60 - 0.70	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10690	1069	0.65 - 0.75	0.40 - 0.70	0.040	0.050
G10700	1070	0.65 - 0.75	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10740	1074	0.70 - 0.80	0.50 - 0.80	0.040	0.050
G10750	1075	0.70 - 0.80	0.40 - 0.70	0.040	0.050
G10780	1078	0.72 - 0.85	0.30 - 0.60	0.040	0.050
G10800	1080	0.75 - 0.88	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10840	1084	0.80 - 0.93	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10850	1085	0.80 - 0.93	0.70 - 1.00	0.040	0.050
G10860	1086	0.80 - 0.93	0.30 - 0.50	0.040	0.050
G10900	1090	0.85 - 0.98	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10950	1095	0.90 - 1.03	0.30 - 0.50	0.040	0.050

3.3.2.1. Grup 1

En düşük karbon miktarına (yaklaşık % 0,15'ten az C) sahip karbonlu çelikler aynı çekilebilme ve soğuk şekil verilebilme özelliklerine sahiptirler. Ancak düşük gerilme mukavemetine sahiptirler (~ 205 - 240 Mpa).

Bu grubun mukavemet ve sertleşme özelliği karbon miktarının artışı ve soğuk çalışmayla artmaktadır (Davis, 1996). Mukavemet artışı esas itibariyle soğuk deformasyona ve tel haline getirilebilme özelliğini ters yönde etkiler.

Karbon miktarı % 0,15'in altında ise ve soğuk çalışma, 595 °C (1100 °F) ve düşük dönüşüm sıcaklıkları altında ısıtılırsa tanecik büyümesi ve çabuk kırılabilme özelliği olumsuz şekilde etkilenmektedir (Davis, 1996).

Soğuk haddeleme levhaları, bu gruptaki düşük karbon içeren çeliklerden yapılmaktadır (Davis, 1996). Bu tip çelikler mükemmel yüzey görünüşüne sahip olmaktadır.

Bu tip çelikler otomobil panelleri ve aksesuarları yapımında kullanılmaktadır. Makine parçası yapılabilme özellikleri vardır. Çubuk, levha ve tel yapımında da kullanılmaktadırlar. Genel olarak lehimleme ve kaynak işleri için uygun olabilmektedirler. Bu grubun mukavemeti genel olarak düşüktür (Davis, 1996).

3.3.2.2. Grup 2

Bu gruptaki çelikler % 0,15-0,30 arası karbon içermektedir. Bunlar 10XX ve 15XX çelikleridir. Ayrıca % 75 Mn içermektedirler. Bu grup yumuşak çelik sınıfı olarak tanımlanmaktadır (Davis, 1996). Bu gruptaki çelikler Grup 1'e göre daha yüksek mukavemet ve sertlik özelliklerine sahiptirler. Bu gruba uygulanabilen ısıtıl işlemler, karbürleştirme veya sertleştirme dereceleridir (Davis, 1996).

Bu gruptan seçilen bir çelik için karbürleştirme özellikleri çeliğin doğal yapısına ve uygulanacak yönteme bağlı olmaktadır. Karbon artışı sonucu sertleşme artmaktadır (Davis, 1996).

Manganez artışı iç ve dış sertleşmeyi düzenlemektedir. Soğuk yapılar için, bu grup içinde en düşük manganez miktarlı çelikler kullanılmaktadır.

Yüksek mangenez tipleri (SAE - AISI 1018, 1021 ve 1026) mukavemeti daha yüksek çeliklerdir. Bu çelikler karbürizasyondan, önce kaynak ve lehimlemede kullanılmak için uygundur (Davis, 1996).

Kaynak, karburizasyondan sonra yapılacaksa kaynak yapılacak alanın karburizasyon işlemi boyunca korunması gereklidir.

Alternatif bir başka yöntem ise karbürizasyondan sonra kaynak yapmaktır. Küçük şaftlar, buji ve hafif dişli yapımları için bu grup çelikler tercih edilmektedir (Davis, 1996).

3.3.2.3. Grup 3

Bu gruptaki çelikler yüksek mekaniksel özellikler gerektiren yerlerde kullanılan ve ortalama % 0,30 - 0,55 karbon içeren çelikler olmaktadır.

Bu çelikler ısıtma işlemleri veya soğuk çalışmayla sertleştirilip gerilebilmektedirler. Bu grup, çelikler otomotiv uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Karbon ve manganez miktarları seçimi birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörler; mekanik özelliklerin artımı, ortam kalınlığı, sertleşme kalınlığı gibi faktörlerdir. Isıl işlemleri genel olarak gerilmedir.

Bu gruptaki çelikler düşük karbon ve manganez bulundurmalarıyla soğuk yapılı parçaların yapımında geniş bir uygulama alanı bulurlar.

Bu çelikler kullanılmadan önce sertleştirme, normalizasyon, ısıtma ve gerilme işlemlerinden geçirilmektedirler. Bazı uygulamalarda karbon miktarının yüksekliği ısıtma işlemi yapmadan da kullanıma izin vermektedir. Bu gruptaki tüm çelikler (demir dövme) için kullanılabilir.

Bu çeliklere ilişkin boyut ve mekaniksel özellikleri ısıtma işlemleri sonra kesinlik kazanmaktadır.

SAE - AISI 1030-1035 küçük demirhanelerde kullanılır. Aynı zamanda özellikleri de bu demirhanelerde ortaya çıkar. Bu grup çelikler genellikle küçük demir yüzeyler için kullanılmaktadır.

Bu bağlamda bu grup çelikler, makine parçaları yapımında geniş bir uygulama bulmaktadır. Bu grup ısıtma işlemi kullanılarak veya kullanılmayarak istenilen özelliklerine göre üretilmektedir.

Birçok uygulama alanı bulan bu çelikler için kırılmaları önlemek için hızlı ısıtma ve soğutma işlemlerinden kaçınılması gerekmektedir (Davis, 1996).

3.3.2.4. Grup 4

Yüksek karbonlu çeliklerdir. Karbon miktarları % 0,55 - 1,0'dır. Soğuk şekil verme bu grup için pratik değildir.

Isıl işlem bu grup için kullanımdan önce uygulanması gereken işlemler durumundadır (Davis, 1996). Kullanılacak ısıtma işlemi, istenen optimal özelliklere göre farklı olabilmektedir.

SAE - AISI 1064, 1065, 1074, 1080 ve 1085 endüstride kullanılmaktadır. Aşınmaya dayanıklılığı ile çiftçilik araçlarının yapım endüstrisinde de bu grup çelikler geniş bir uygulama alanı bulmaktadır (Davis, 1996).

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu Yüksek Lisans Tezinde karbonlu yapı çeliklerinin farklı gama radyasyon kaynakları için zırlama özelliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla bir dizi deney yapılmıştır.

4.1. DENEYDE KULLANILAN NUMUNELERİN TANITIMI

Deneyde farklı yapıda karbonlu çelikler kullanılmıştır. Kullanılan çelikler SAE-AISI standart sisteminde bin serisi (10XX) içinde yer alan çelikler olup günümüzde yaygın kullanımı olan yapı çelikleri durumundadırlar. Bu çeliklerin araştırma konusu olarak seçilmesi ile zırlamada sıkça kullanılan çelik grubu üzerinde çalışılmış olmaktadır. Bu bağlamda SAE-AISI serisi 1010, 1040, 1050 ve 1090 çelikleri ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.1'de deneylerde çalışılan çeliklerin özellikleri verilmektedir.

Çalışılan çeliklerin seçiminde karbon oranları özenle dikkate alınmıştır. Numuneler silindir şeklinde seçilmiş olup çapları 5 cm 'dir. Numune çapının 5 cm olarak seçilmesi dedektör çapı ile uygunluğun sağlanmasıyla doğrudan bağlantılıdır. Çalışılan numunelerin kalınlıkları ise maksimum 5 cm olacak şekilde düzenlenmiştir. Bu kalınlık, çalışılan çelik numunelerin zırlama açısından önemi olan "yarı kalınlık" değerini kapsayacağı düşünülen kalınlıktır. Çalışılan numunelerin geometrik özellikleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

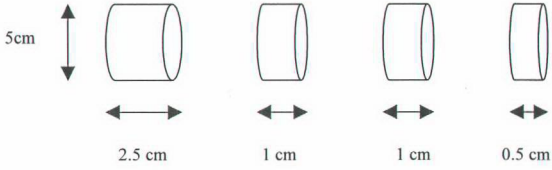
Tablo 4.1
Deneylerde Kullanılan Çeliklerin Özellikleri

Numaralandırma Sistemi		Kimyasal madde (%) aralığı ve limitleri			
UNS	SAE - AISI	C	Mn	P max.	S max
G10100	1010	0.08 - 0.13	0.30 - 0.60	0.040	0.050
G10400	1040	0.37 - 0.44	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10500	1050	0.48 - 0.55	0.60 - 0.90	0.040	0.050
G10900	1090	0.85 - 0.98	0.60 - 0.90	0.040	0.050

Tablo 4.2
Çalışılan Numunelerin Geometrik Özellikleri

Çelik Numune Çapı (cm)	Çelik Numune Kalınlığı	Sayı
5	0,5	1
5	1	2
5	2,5	1

Tablo 4.2'deki 4 farklı numune tek veya farklı kombinasyonel üst üste yerleşimlerle 0,5 cm 'den 5 cm 'e kadar, 0,5 cm farkla (0,5 cm, 1 cm, 1,5 cm, 2cm, 2,5 cm, 3 cm, 3,5 cm, 4 cm, 4,5cm, 5cm) 10 farklı kalınlık için deney yapma imkanı vermektedir. 4 farklı numune geometrisi şematik olarak Şekil 4.1'de verilmiştir. Çalışılan 1010, 1040, 1050 ve 1090 çelikleri için özel olarak hazırlatılan çelik numunelerin fotoğrafları sırasıyla Şekil 4.2 - Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



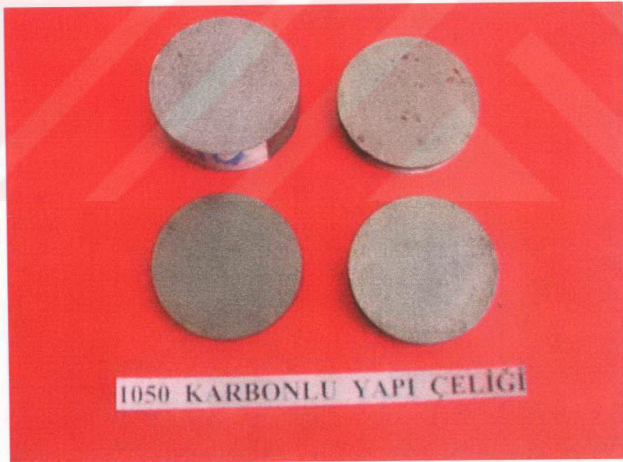
Şekil 4.1 Çalışılan numunelerin geometrilerinin şematik gösterimi



Şekil 4.2 1010 Karbonlu Yapı Çeliği Numuneleri



Şekil 4.3 1040 Karbonlu Yapı Çeliği Numuneleri



Şekil 4.4 1050 Karbonlu Yapı Çeliği Numuneleri



Şekil 4.5 1090 Karbonlu Yapı Çeliği Numuneleri

4.2. DENEYDE KULLANILAN RADYASYON KAYNAKLARI

Deneylerde 3 farklı gama radyoizotop kaynağı kullanılmıştır. Kullanılan radyoizotop kaynaklar günümüzde endüstriyel amaçlı yaygın kullanımı olan gama kaynakları durumundadır.

Deneylerde kullanılan gama radyoizotop kaynaklar

- Cs - 137
- Co - 60
- Ir - 192

radyoizotoplarıdır.

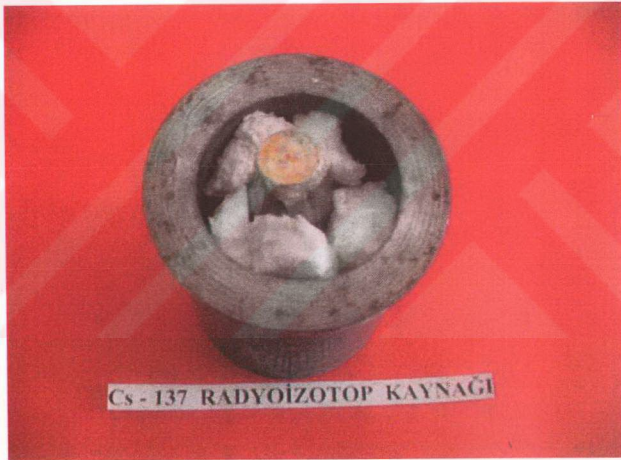
Söz konusu gama kaynaklarının özellikleri Tablo 4.3'de gösterilmiştir.

Tablo 4.3
Deneylerde Kullanılan Radyoizotopların Özellikleri
(Memaster, 1963)

Gama Kaynağı	Yarı Ömrü	Enerjisi (MeV) ve bolluk yüzdesi	Doz Sabiti (aAm ² / kg Bq)	Çalışılan Aktivite
⁶⁰ Co	5.26 yıl	γ ₁ 1.173 (100) γ ₂ 1.332 (100)	2.52	0.04 mCi
¹³⁷ Cs	30 yıl	γ 0.667 (85)	0.46	11.14 μCi
¹⁹² Ir	74.2 gün	γ ₁ 0.200 (0,5) γ ₂ 0.210 (4,1) γ ₃ 0.280 (0,4) γ ₄ 0.296 (35,8) γ ₅ 0.308 (37,1) γ ₆ 0.316 (100) γ ₇ 0.374 (0,8) γ ₈ 0.416 (0,7) γ ₉ 0.468 (56,8) γ ₁₀ 0.484 (3,5) γ ₁₁ 0.489 (0,4) γ ₁₂ 0.589 (5,3) γ ₁₃ 0.604 (9,9) γ ₁₄ 0.612 (6,4) γ ₁₅ 0.884 (0,4) γ ₁₆ 1.062 (0,07)	0.97	0.0016 μCi

4.2.1. Cs - 137 Radyoizotop Kaynağı

β^- yayınımları olarak $^{137}\text{Ba}^m$ 'dan elde edilen bu kaynak 662 keV enerjili gama fotonlarıyla geniş bir uygulama alanına sahiptir (Földiák, 1986) ^{137}Cs ve $^{137}\text{Ba}^m$ kaynaklarının yarılanma ömürleri karşılaştırıldığında bu iki kaynak seküler dengededir. Ana izotopun aktivitesi kız izotopun aktivitesine eşittir. Toplam aktivite ana izotopun yarılanma ömründen daha düşüktür. Bu radyoizotop kaynak da gama kaynağı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Tek enerjili olması, çoğu kez radyasyon kaynağı olarak kullanımı için tercih edilmesinin sebebidir. Deneylerimizde Cs-137 radyoizotop kaynağının kullanımı ile tek enerjili bir gama kaynağı ile çalışılmış olmaktadır. Kullanılan Cs-137 gama kaynağının fotoğrafı Şekil 4.6'da görülmektedir.

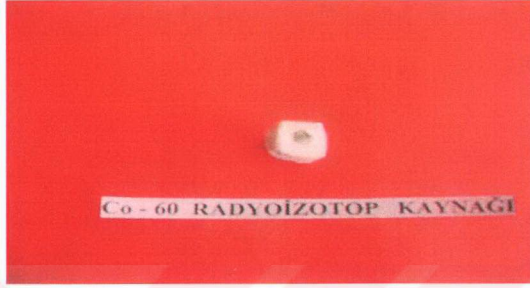


Şekil 4.6 Deneylerde Kullanılan Cs-137 Gama Radyoizotop Kaynağı

4.2.2. Co - 60 Radyoizotop Kaynağı

Co-60 radyoizotopu yapay radyasyon kaynaklarından yaygın kullanılan bir gama kaynağıdır. Düşük maliyeti ve 5,26 yıllık yarı ömrü ve yüksek enerji pikleri ile tercih edilen bir radyoizotoptur.

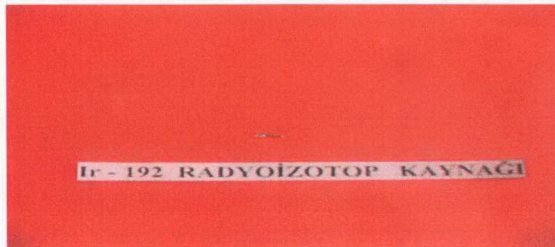
Enerji pikleri 2 tane olup 1,17 MeV ile 1,33 MeV'dedir. Bu gama kaynağı ile yapılan deneyler çift enerjili radyoizotop kaynağı uygulaması durumundadır. Kullanılan Co-60 radyoizotop kaynağının fotoğrafı Şekil 4.7'de verilmektedir.



Şekil 4.7 Deneylerde Kullanılan Co-60 Gama Radyoizotop Kaynağı

4.2.3. Ir - 192 Radyoizotop Kaynağı

Bu kaynak tahribatsız muayene yöntemlerinden radyorafide önemli kullanımı olan bir gama kaynağıdır. Spesifik aktivitesinin yüksek olabilmesi ve nokta kaynak olarak kullanılabilme özelliği bu kaynağa talebi artırmaktadır. Bu kaynak (n, γ) reaksiyonu ile elde edilmektedir (Földi, 1986). Bu kaynağın deneylerimizde kullanılması ile çok enerji seviyeli bir gama radyoizotop kaynakla çalışılmış olmaktadır. Bir başka deyişle Ir-192 deneyleri poli-enerjitik kaynak uygulamasıdır. Şekil 4.8'de kullanılan Ir-192 gama kaynağının fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 4.8 Deneylerde Kullanılan Ir-192 Gama Radyoizotop Kaynağı

4.3. DENEYDE KULLANILAN CİHAZLAR

Deneyler, sintilasyon dedektörlü bir çok kanallı analizör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyde kullanılan cihazlar;

- Sintilasyon Dedektörü
- Kurşun Kolimatör
- Çok Kanallı Analizör

olarak sayılabilir.

4.3.1. Sintilasyon Dedektörü

Deneylerde NaI (TI) kristalli bir sintilasyon dedektörü kullanılmıştır. Söz konusu dedektör Nucleus marka bir dedektördür. Şekil 4.9'da kullanılan sintilasyon dedektörü görülmektedir.



Şekil 4.9 Nucleus Marka Sintilasyon Dedektörü

4.3.2. Kurşun Kolimatör

Gama radyoizotop kaynaklar kurşun bir kolimatör ile beraber kullanılmıştır. Kolimatörün biçimi, gama kaynaklarının yerleştirilmesine uygundur. Söz konusu kolimatör kurşun olup, cidar kalınlığı 1.3 cm'dir. Şekil 4.10'da kurşun kolimatör görülmektedir.



Şekil 4.10 Deneylerde Kullanılan Kurşun Kolimatör

4.3.3. Çok Kanallı Analizör

Deneylerde kullanılan çok kanallı analizör, ön yükseltici, yükseltici, güç kaynağı ve sayıcı gibi üniteleri bünyesinde bulunduran tek bir ünite halinde ve monitörü ile beraber kullanılan cihaz durumundadır. Bu çok kanallı analizör 256 kanallı olup Nucleus marka, 800A Model'dir. Çok kanallı analizörün fotoğrafı Şekil 4.11'de görülmektedir.

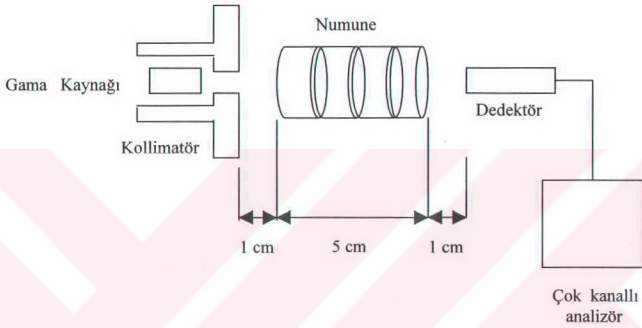


Şekil 4.11 Deneylerde Kullanılan Çok Kanallı Analizör

4.4. SAYIM GEOMETRİSİ

Dedektör, numune ve gama radyoizotop kaynağını yerleşim düzeni, deneysel çalışmalar açısından önem arz etmektedir. Deneyler arasında rasyonelliğin sağlanabilmesi için kaynak dedektör mesafesi daima sabit tutulmuştur.

Bu bağlamda, sayım geometrisi çalışılacak en kalın numuneye göre oluşturulmuştur. En kalın numune için dedektör numune arası ve kolimatör dış cephesi ile numune arası 1 cm olacak şekilde yapılmıştır. Daha ince numune kalınlıklarına ilişkin deneylerde eksilen kalınlık bölgesi doğal hava ortamı olarak bırakılmıştır. Şekil 4.12'de çalışılan sayım geometrisi şematik olarak, Şekil 4.13'de ise fotografik olarak görülmektedir.



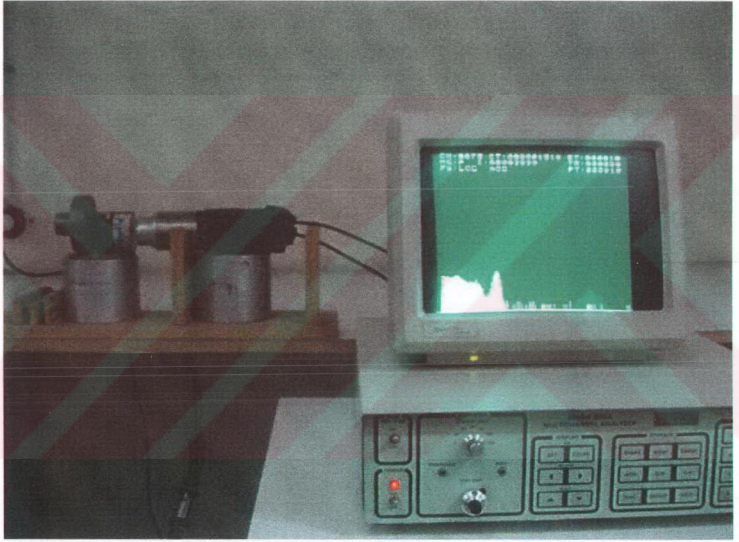
Şekil 4.12 Sayım Geometrisinin Şematik Gösterimi



Şekil 4.13 Sayım Geometrisi

4.5. DENEY DÜZENEGİ

Bu yüksek lisans tez çalışmasındaki deney düzeneği farklı elemanların bir arada kullanılmasıyla oluşturulmuştur. Bu elemanların belli bir geometride bir araya getirilmesiyle deneyler rasyonel şekilde yapılabilmektedir. Deney düzeneği, fotografik olarak Şekil 4.14'de görülmektedir.



Şekil 4.14 Deney Düzeneği

4.6. DENEYİN YAPILIŞI

Farklı gama kaynakları kullanılarak karbonlu yapı çeliklerinin radyasyon zırlama özelliklerinin incelenmesi bu Yüksek Lisans tez çalışmasının ana temasını oluşturmaktadır. Deney süresince tüm işlemler, titizlikle yapılmıştır. Deneylere başlanırken, öncelikle çok kanallı analizörün kalibrasyonu yapılmıştır.

Deneylerde kullanılacak gama radyoizotop kaynağına ilişkin pik bölgeleri belirlenip bu bölgelere ilişkin sayımların alınması için çok kanallı analizörde ilgili kanal işaretlemeleri ile sabitleme yapılmış, her kaynak için yapılacak deneylerde söz konusu bu sabitlenen kanallar için sayımlar alınmıştır.

Bundan sonra oluşturulan deney düzeneği ile deneye başlanmadan önce kaynaksız hal için doğal sayımlar alınmıştır. Her deneyden önce doğal sayımlar en az üç kez alınmıştır. Daha sonra radyasyon kaynağı yerine yerleştirilmiştir. Her radyasyon kaynağı ile çelikler araya konmadan başlangıç değeri (I_0) olarak nitelenecek sayımlar alınmıştır.

Deneylere Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak başlanmıştır. Bu kaynağın 662 KeV'luk tek piki için sayımlar alınmıştır. Kaynağın aktivitesinin nispeten düşük olmasından dolayı sayımlar onar dakika yapılmıştır. Bu sayımlar 4 farklı çelik için 0,5 cm, 1 cm, 1,5 cm, 2 cm, 2,5 cm, 3 cm, 3,5 cm, 4 cm, 4,5 cm ve 5 cm kalınlıkları için en az üç kez yapılmıştır.

Deneylerde ikinci kaynak Co-60 gama radyoizotop kaynağı kullanılmıştır. Deneylerde bu kaynağın her iki piki için (1.17 MeV ve 1.33 MeV) sayımlar alınmıştır. Kaynağın aktivitesinin yüksek olmasından ötürü birer dakikalık sayımlar alınmıştır. Bu sayımlar 4 farklı çelik için 0,5 cm, 1 cm, 1,5 cm, 2 cm, 2,5 cm, 3 cm, 3,5 cm, 4 cm, 4,5 cm ve 5 cm kalınlıkları için en az üç kez yapılmıştır.

Deneyler üçüncü ve son olarak Ir-192 gama radyoizotop kaynağı ile yapılmıştır. Bu kaynağın 0,296 MeV, 0,308 MeV, 0,316 MeV, 0,468 MeV, 0,589 MeV, 0,604 MeV ve 0,612 MeV'lik pikleri taranmıştır. Böylelikle ^{192}Ir 'nin % 5'in üzerinde bolluğu bulunan tüm pikleri ile çalışılmıştır. Bu kaynağın da aktivitesi nispeten düşük olmasından ötürü onar dakikalık sayımlar alınmıştır. Bu sayımlar 4 farklı çelik için 0,5 cm, 1 cm, 1,5 cm, 2 cm, 2,5 cm, 3 cm, 3,5 cm, 4 cm, 4,5 cm ve 5 cm kalınlıkları için en az üç kez yapılmıştır.

BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARI

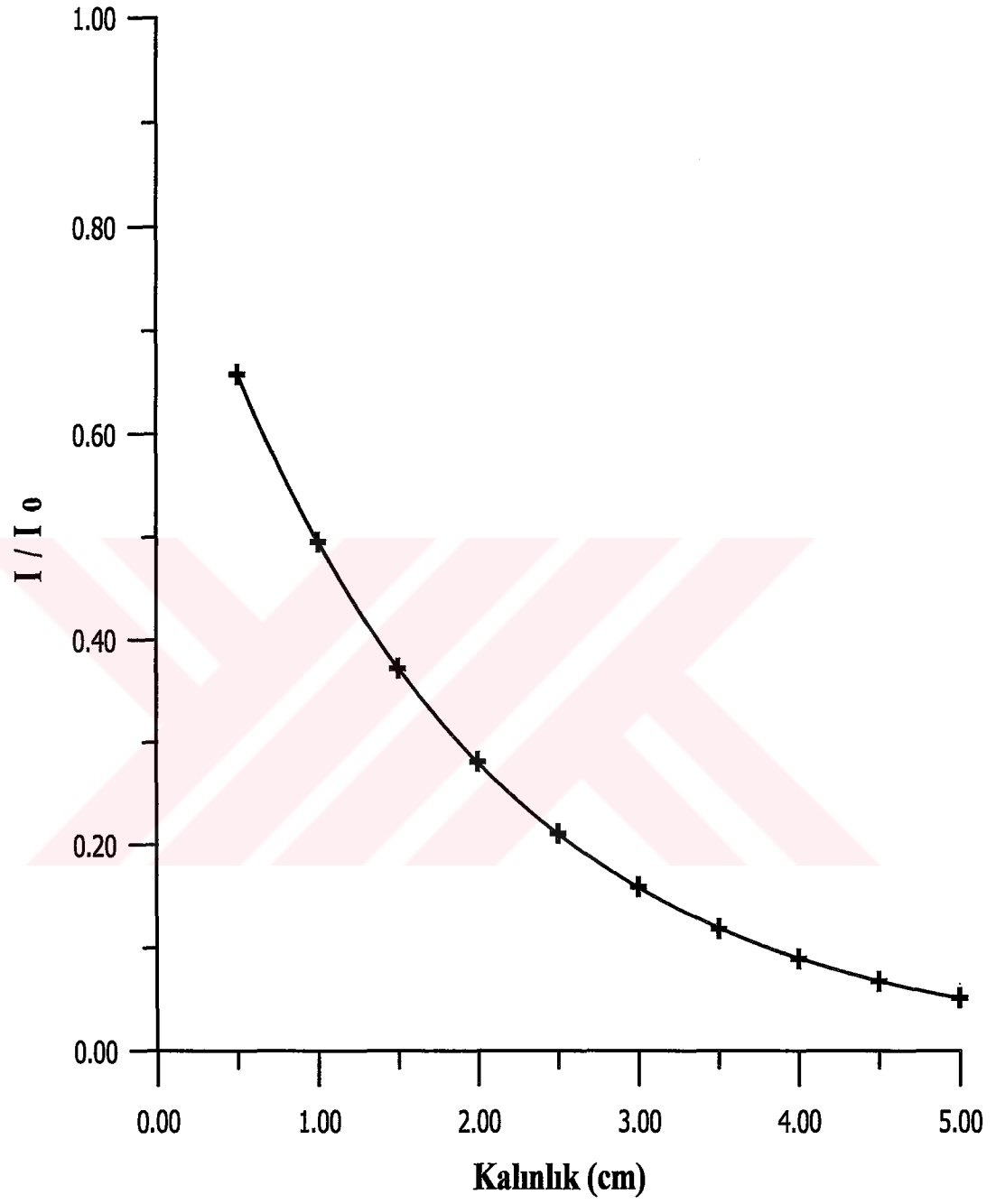
Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında farklı karbonlu yapı çeliklerinin farklı gama kaynakları için zırhlama özellikleri incelenmiştir. Bölüm 4'de yapılışı detaylı olarak anlatılan deneylere ait sonuçlar aşağıdaki alt bölümler içinde karbonlu yapı çelikleri için 3 farklı gama kaynağına ilişkin olarak ayrı ayrı verilmektedir.

5.1. Cs-137 GAMA KAYNAĞI KULLANILARAK FARKLI KARBONLU YAPI ÇELİKLERİ İÇİN ELDE EDİLEN DENEY SONUÇLARI

Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak yapılan deney sonuçları çalışılan her karbonlu yapı çeliği tipi için ayrı ayrı aşağıdaki alt bölümler içinde verilmektedir.

5.1.1. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak 1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Cs-137 Radyoizotop kaynağı kullanılarak 1010 Karbonlu yapı çeliği ile elde edilen deney sonuçları Tablo 5.1'de verilmektedir. Tablo 5.1'den hareketle 1010 Karbonlu yapı çeliğine ilişkin olarak çizilen grafik Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1 Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle 1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları

Tablo 5.1

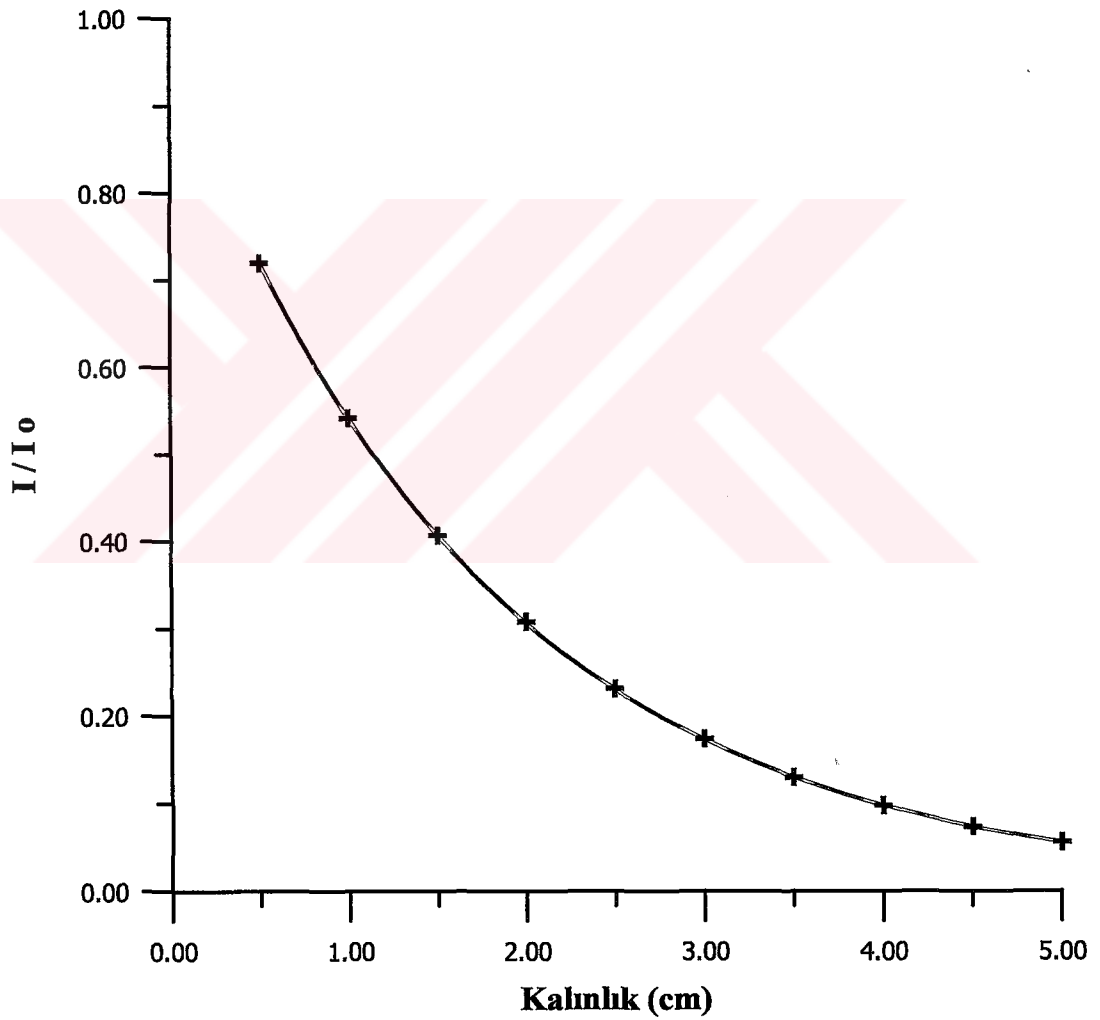
1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Cs-137 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0) : 63593 $\pm$ 43Doğal Sayım : 998 $\pm$ 4,3

Kalınlık (cm)	S a y ı m						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağlı Sayım (I / I ₀)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
0,5	42925	41927	42884	41886	42717	41719	41844	89	0,658
1	32560	31562	32505	31507	32366	31368	31479	81	0,495
1,5	24713	23715	24698	23700	24554	23556	23657	72	0,372
2	18929	17931	18896	17898	18779	17781	17870	64	0,281
2,5	14472	13474	14440	13442	14336	13338	13418	58	0,211
3	11146	10148	11108	10110	11016	10018	10092	55	0,159
3,5	8552	7554	8499	7501	8455	7457	7504	40	0,118
4	6694	5696	6671	5673	6609	5611	5660	36	0,089
4,5	5300	4302	5260	4262	5216	4218	4261	34	0,067
5	4254	3256	4253	3255	4256	3258	3256	17	0,051

5.1.2. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak 1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Cs-137 Radyoizotop kaynağı kullanılarak 1040 Karbonlu yapı çeliği ile elde edilen deney sonuçları Tablo 5.2'de verilmektedir. Tablo 5.2'den hareketle 1040 Karbonlu yapı çeliğine ilişkin olarak çizilen grafik Şekil 5.2'de görülmektedir.



Şekil 5.2 Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle 1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları

Tablo 5.2

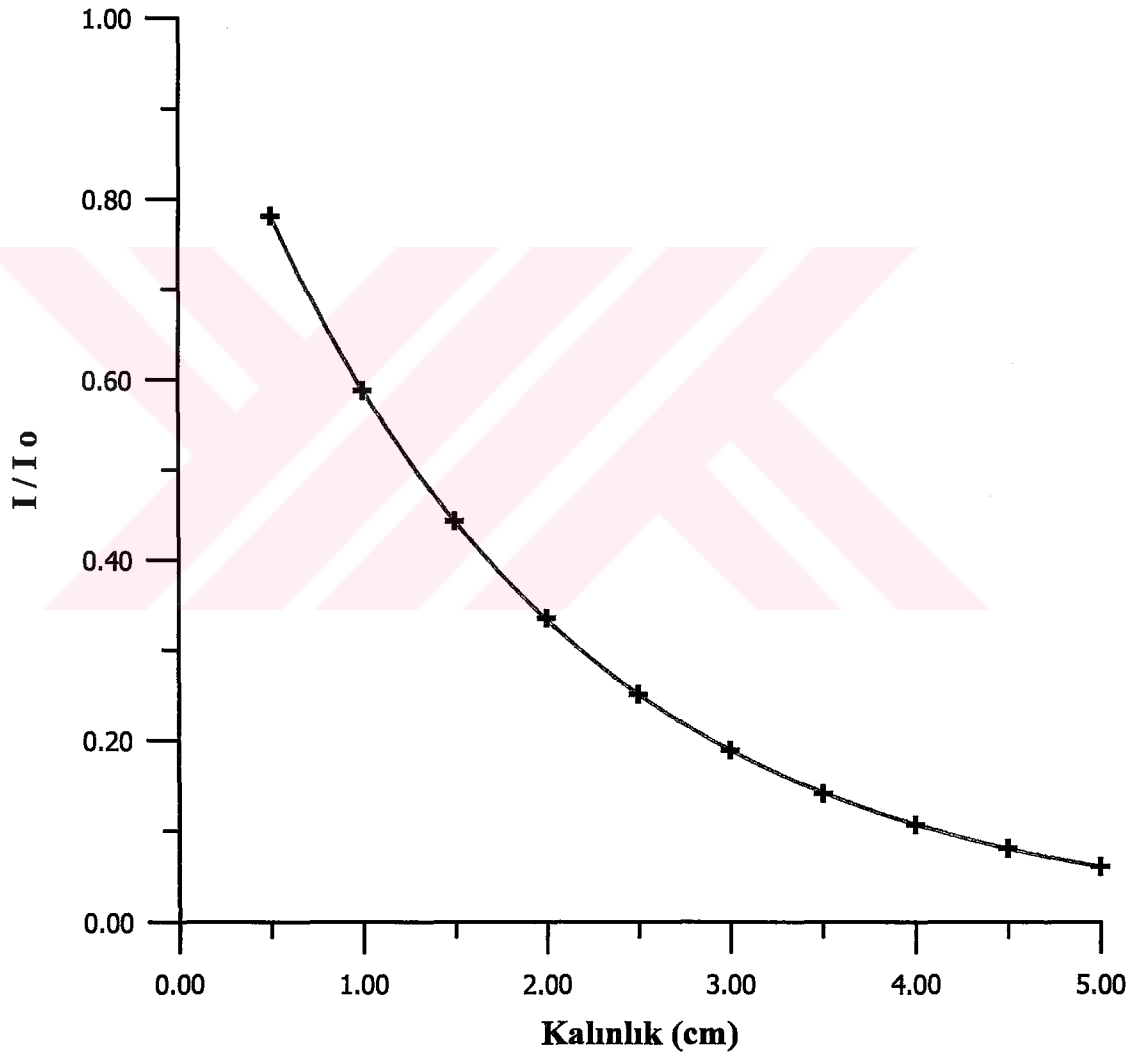
1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Cs-137 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0) : 63972 $\pm$ 135Doğal Sayım : 948 $\pm$ 6,7

Kalınlık (cm)	S a y ı m						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağlı Sayım (I / I ₀)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım				
0,5	47033	46085	46982	46034	46819	45871	45997	91	0,719
1	35680	34732	35510	34562	35480	34532	34608	88	0,541
1,5	27010	26062	26925	25977	26828	25880	25973	74	0,406
2	20676	19728	20583	19635	20501	19553	19638	71	0,307
2,5	15742	14794	15654	14706	15589	14641	14714	63	0,230
3	12097	11149	11994	11046	11954	11006	11067	60	0,173
3,5	9232	8284	9207	8259	9161	8213	8252	29	0,129
4	7182	6234	7150	6202	7126	6178	6205	22	0,097
4,5	5641	4693	5619	4671	5594	4646	4670	19	0,073
5	4481	3533	4475	3527	4443	3495	3518	16	0,055

5.1.3. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak 1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Cs-137 Radyoizotop kaynağı kullanılarak 1050 Karbonlu yapı çeliği ile elde edilen deney sonuçları Tablo 5.3'de verilmektedir. Tablo 5.3'den hareketle 1050 Karbonlu yapı çeliğine ilişkin olarak çizilen grafik Şekil 5.3'de görülmektedir



Şekil 5.3 Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle 1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları

Tablo 5.3

1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Cs-137 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları

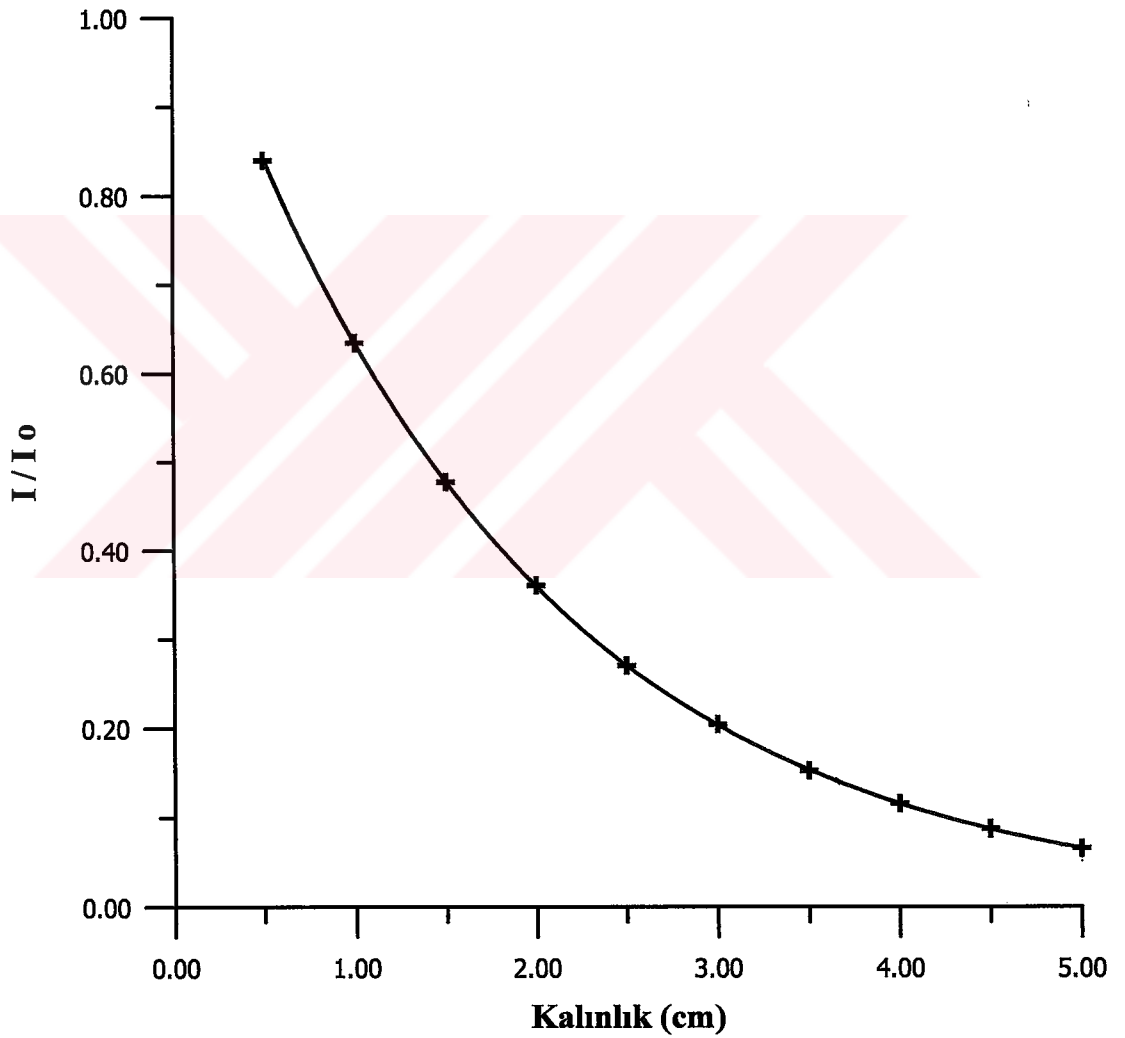
Numunesiz Net Sayım (I_0) : 63998 $\pm$ 69

Doğal Sayım : 1123 $\pm$ 9,4

Kalınlık (cm)	S a y ı m						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağlı Sayım (I / I ₀)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
0,5	51252	50129	51089	49966	50974	49851	49982	114	0,781
1	38865	37742	38798	37675	38608	37475	37601	113	0,588
1,5	29614	28491	29459	28336	29375	28252	28360	99	0,443
2	22678	21555	22554	21431	22455	21332	21439	91	0,335
2,5	17278	16155	17207	16084	17074	15951	16063	84	0,251
3	13305	12182	13220	12097	13133	12010	12096	70	0,189
3,5	10196	9073	10143	9020	10104	8981	9025	37	0,141
4	7989	6866	7986	6863	7939	6816	6848	23	0,107
4,5	6321	5198	3614	5191	6287	5164	5184	15	0,081
5	5043	3920	5027	3904	5011	3888	3904	13	0,061

5.1.4. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak 1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Cs-137 Radyoizotop kaynağı kullanılarak 1090 Karbonlu yapı çeliği ile elde edilen deney sonuçları Tablo 5.4'de verilmektedir. Tablo 5.4'den hareketle 1090 Karbonlu yapı çeliğine ilişkin olarak çizilen grafik Şekil 5.4'de görülmektedir.



Şekil 5.4 Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle 1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları

Tablo 5.4
1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Cs-137 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0) : 64740 $\pm$ 72 Doğal Sayım : 1008 $\pm$ 6,3

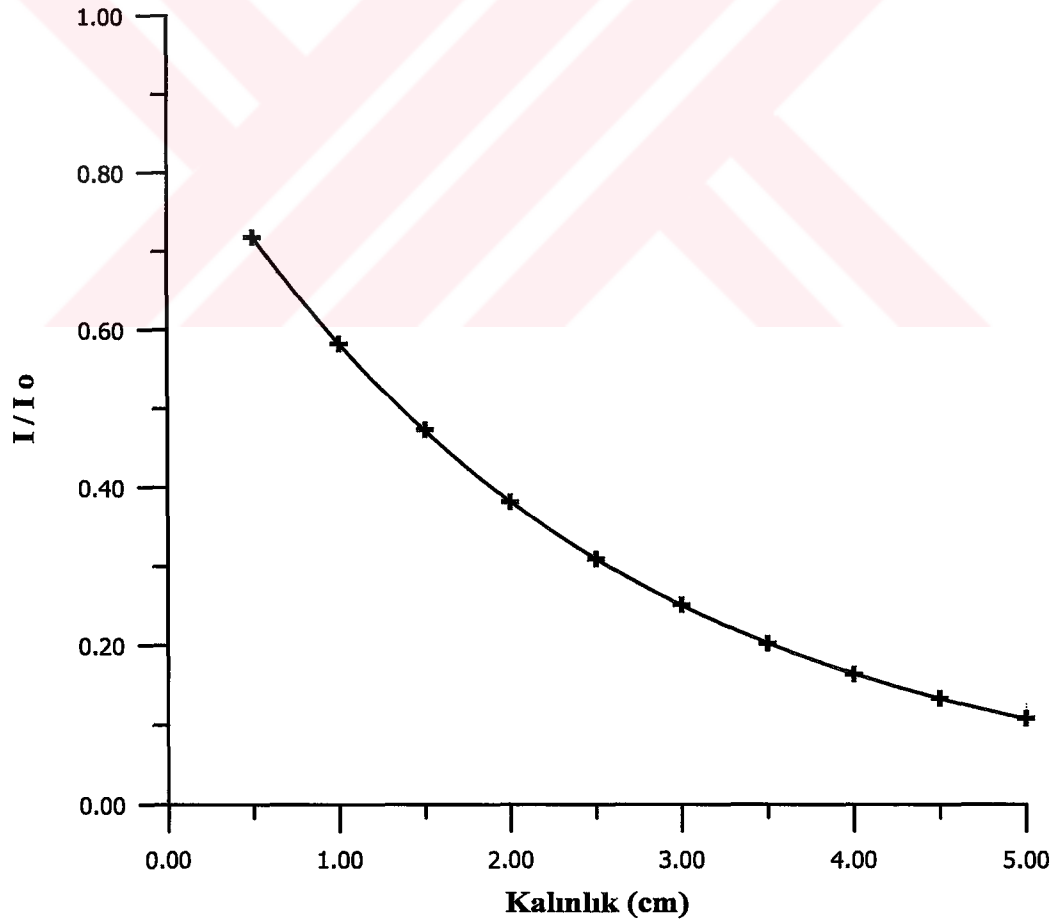
Kalınlık (cm)	S a y ı m							Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağlı Sayım (I / I ₀)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım					
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Net Sayım			
0,5	55540	54532	55327	54369	55253	54245	54382	118	0,840	
1	42193	41185	42040	41032	41926	40918	41045	109	0,634	
1,5	32019	31011	31876	30868	31772	30764	30881	101	0,477	
2	24434	23426	24301	23293	24207	23199	23306	93	0,360	
2,5	18598	17590	18475	17467	18391	17383	17480	85	0,270	
3	14315	13307	14202	13194	14128	13120	13207	77	0,204	
3,5	10938	9930	10835	9827	10771	9763	9840	69	0,152	
4	8533	7525	8440	7432	8386	7378	7445	61	0,115	
4,5	6710	5702	6627	5619	6583	5575	5632	53	0,087	
5	5276	4268	5203	4195	5169	4161	4208	45	0,065	

5.2. Co-60 GAMA KAYNAĞI KULLANILARAK FARKLI KARBONLU YAPI ÇELİKLERİ İÇİN ELDE EDİLEN DENEY SONUÇLARI

Co-60 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak yapılan deney sonuçları çalışılan her karbonlu yapı çeliği tipi için ayrı ayrı aşağıdaki alt bölümler içinde verilmektedir.

5.2.1. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak 1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Co-60 Radyoizotop kaynağı kullanılarak 1010 Karbonlu yapı çeliği ile elde edilen deney sonuçları Tablo 5.5'de verilmektedir. Tablo 5.5'den hareketle 1010 Karbonlu yapı çeliğine ilişkin olarak çizilen grafik Şekil 5.5'de görülmektedir.



Şekil 5.5 Co-60 Radyoizotop Kaynağı İle 1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları

Tablo 5.5

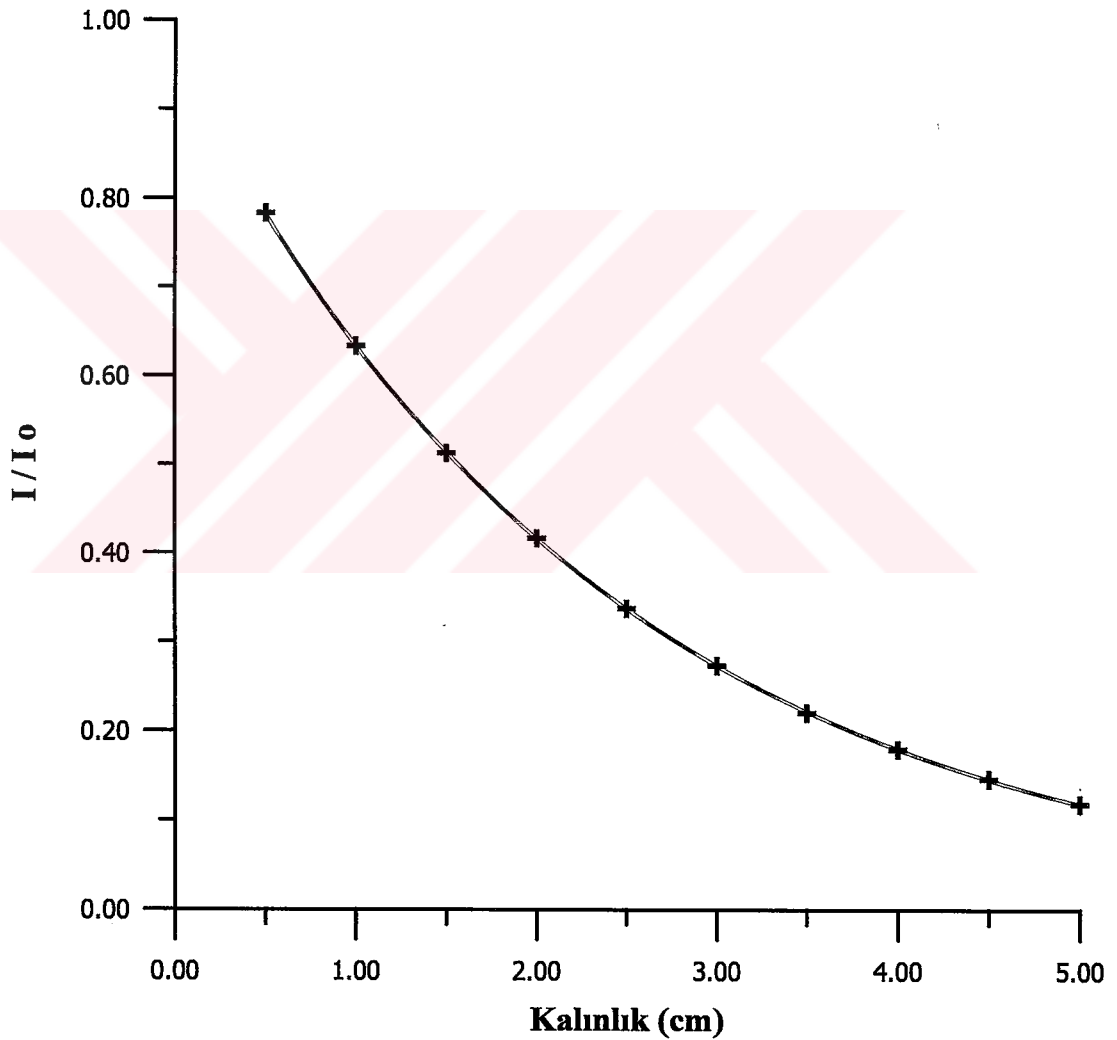
1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Co-60 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0) : 82963 $\pm$ 99 Doğal Sayım : 64 $\pm$ 0,5

Kalınlık (cm)	S a y ı m						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağlı Sayım (I / I ₀)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
0,5	59781	59717	59601	59537	59511	59447	59567	112	0,718
1	48485	48421	48326	48262	48233	48169	48284	104	0,582
1,5	39430	39366	39292	39228	39193	39129	39241	97	0,473
2	31788	31724	31665	31601	31566	31502	31609	91	0,381
2,5	25794	25730	25703	25639	25603	25539	25636	78	0,309
3	20992	20928	20849	20785	20823	20759	20824	74	0,251
3,5	16916	16852	16803	16739	16747	16683	16758	70	0,202
4	13663	13599	13577	13513	13521	13457	13523	58	0,163
4,5	11163	11099	11091	11027	11040	10976	11034	51	0,133
5	9082	9018	9010	8946	8980	8916	8960	43	0,108

5.2.2. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak 1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Co-60 Radyoizotop kaynağı kullanılarak 1040 Karbonlu yapı çeliği ile elde edilen deney sonuçları Tablo 5.6'de verilmektedir. Tablo 5.6'den hareketle 1040 Karbonlu yapı çeliğine ilişkin olarak çizilen grafik Şekil 5.6'da görülmektedir.



Şekil 5.6 Co-60 Radyoizotop Kaynağı İle 1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları

Tablo 5.6

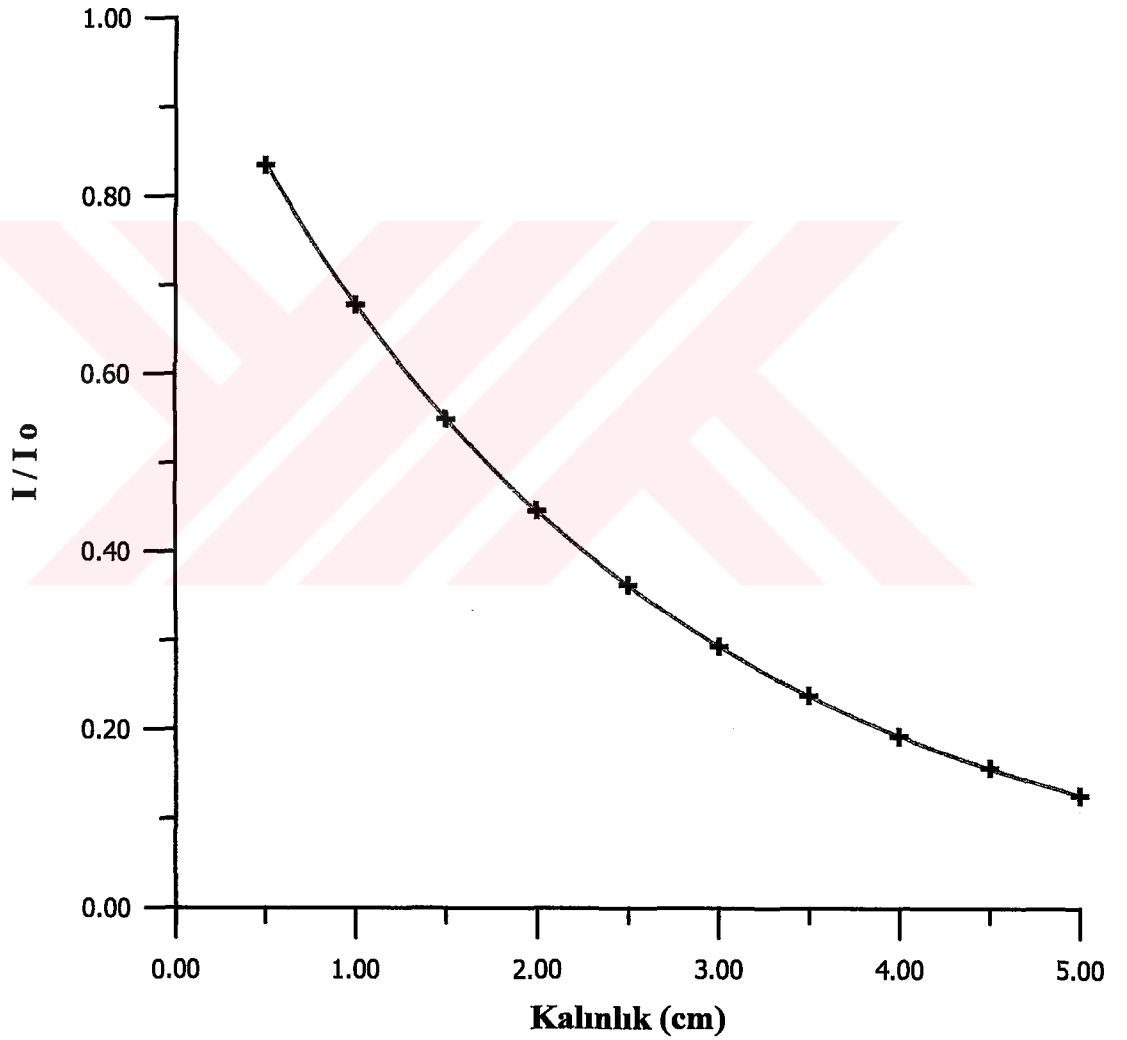
1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Co-60 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0) : 82963 $\pm$ 99Doğal Sayım : 64 $\pm$ 0,5

Kalınlık (cm)	S a y ı m						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağlı Sayım (I / I ₀)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım				
0,5	65174	65110	64999	64935	64899	64835	64960	114	0,783
1	52799	52735	52644	52580	51913	52479	52598	105	0,634
1,5	42669	42605	42526	42462	42428	42364	42477	99	0,512
2	34674	34610	34587	34523	34470	34406	34513	84	0,416
2,5	28120	28056	28018	27954	27931	27867	27959	77	0,337
3	22800	22736	22707	22643	22632	22568	22649	69	0,273
3,5	18392	18328	18311	18247	18245	18181	18252	60	0,220
4	14983	14919	14909	14845	14850	14786	14850	54	0,179
4,5	12231	12167	12175	12111	12125	12061	12113	43	0,146
5	9901	9837	9841	9777	9820	9756	9790	34	0,118

5.2.3. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak 1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Co-60 Radyoizotop kaynağı kullanılarak 1050 Karbonlu yapı çeliği ile elde edilen deney sonuçları Tablo 5.7'de verilmektedir. Tablo 5.7'den hareketle 1050 Karbonlu yapı çeliğine ilişkin olarak çizilen grafik Şekil 5.7'de görülmektedir.



Şekil 5.7 Co-60 Radyoizotop Kaynağı İle 1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları

Tablo 5.7

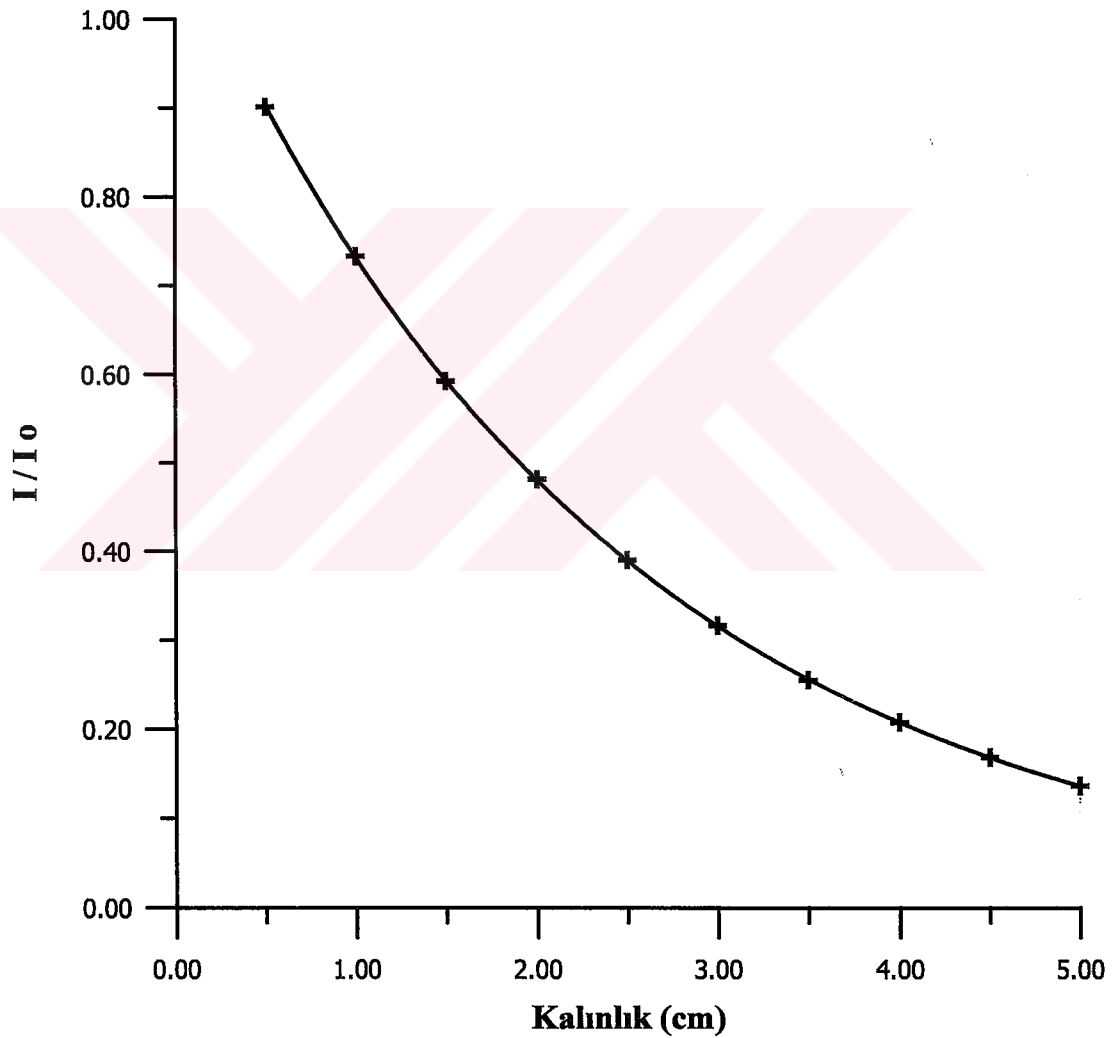
1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Co-60 Gama Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0) : 82963 $\pm$ 99Doğal Sayım : 64 $\pm$ 0,5

Kalınlık (cm)	S a y ı m						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağlı Sayım (I / I ₀)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
0,5	69493	69429	69308	69244	69213	69149	69274	116	0,835
1	56456	56392	56290	56226	56193	56129	56249	109	0,678
1,5	45746	45682	45586	45522	45501	45437	45547	102	0,549
2	37190	37126	37038	36974	36967	36903	37001	93	0,446
2,5	30210	30146	30072	30008	30009	29945	30033	83	0,362
3	24475	24411	24348	24284	24293	24229	24308	76	0,293
3,5	19894	19830	19789	19725	19744	19680	19745	63	0,238
4	16061	15997	15982	15918	15936	15872	15929	52	0,192
4,5	13154	13090	13073	13009	13040	12976	13025	48	0,157
5	10572	10508	10500	10436	10479	10415	10453	40	0,126

5.2.4. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak 1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Co-60 Radyoizotop kaynağı kullanılarak 1090 Karbonlu yapı çeliği ile elde edilen deney sonuçları Tablo 5.8'de verilmektedir. Tablo 5.8'den hareketle 1090 Karbonlu yapı çeliğine ilişkin olarak çizilen grafik Şekil 5.8'de görülmektedir.



Şekil 5.8 Co-60 Radyoizotop Kaynağı İle 1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları

Tablo 5.8

1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Co-60 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Denev Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0) : 81456 $\pm$ 84Doğal Sayım : 71 $\pm$ 0,8

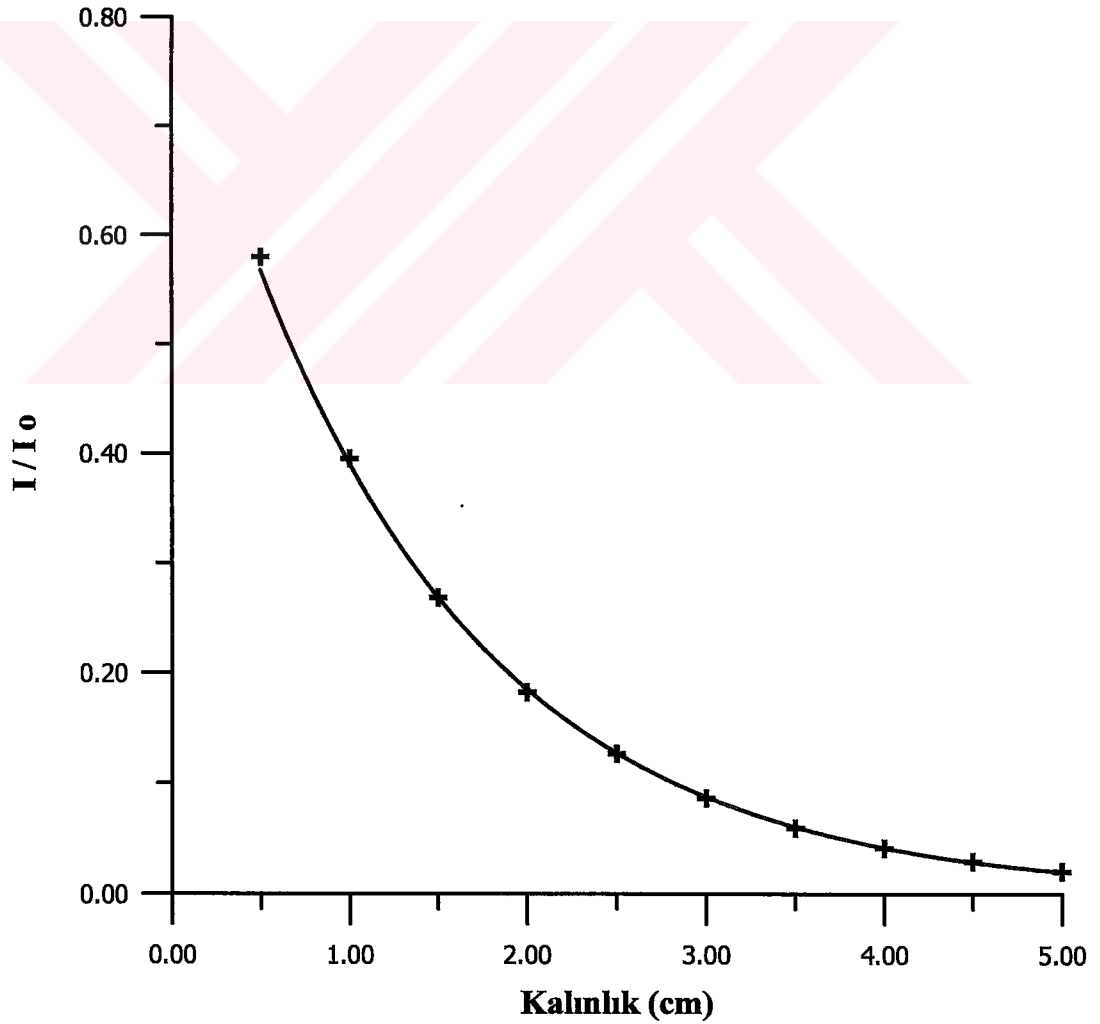
Kalınlık (cm)	S a y ı m						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I / I ₀)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
0,5	73616	73552	73438	73367	73288	73257	73392	122	0,901
1	59928	59857	59753	59682	59653	59582	59707	114	0,733
1,5	48428	48357	48277	48206	48174	48103	48222	104	0,592
2	39383	39312	39228	39157	39142	39071	39180	100	0,481
2,5	31963	31892	31813	31742	31741	31670	31768	92	0,390
3	25919	25848	25791	25720	25723	25652	25740	81	0,316
3,5	20946	20875	20817	20746	20763	20692	20771	77	0,255
4	17025	16954	16907	16836	16864	16793	16861	68	0,207
4,5	13840	13769	13722	13651	13706	13635	13685	60	0,168
5	11221	11150	11125	11054	11101	11030	11078	52	0,136

5.3. Ir-192 GAMA KAYNAĞI KULLANILARAK FARKLI KARBONLU YAPI ÇELİKLERİ İÇİN ELDE EDİLEN DENEY SONUÇLARI

Ir-192 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak yapılan deney sonuçları çalışılan her karbonlu yapı çeliği tipi için ayrı ayrı aşağıdaki alt bölümler içinde verilmektedir.

5.3.1. Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak 1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Ir-192 Radyoizotop kaynağı kullanılarak 1010 Karbonlu yapı çeliği ile elde edilen deney sonuçları Tablo 5.9'da verilmektedir. Tablo 5.9'dan hareketle 1010 Karbonlu yapı çeliğine ilişkin olarak çizilen grafik Şekil 5.9'da görülmektedir.



Şekil 5.9 Ir-192 Radyoizotop Kaynağı İle 1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları

Tablo 5.9

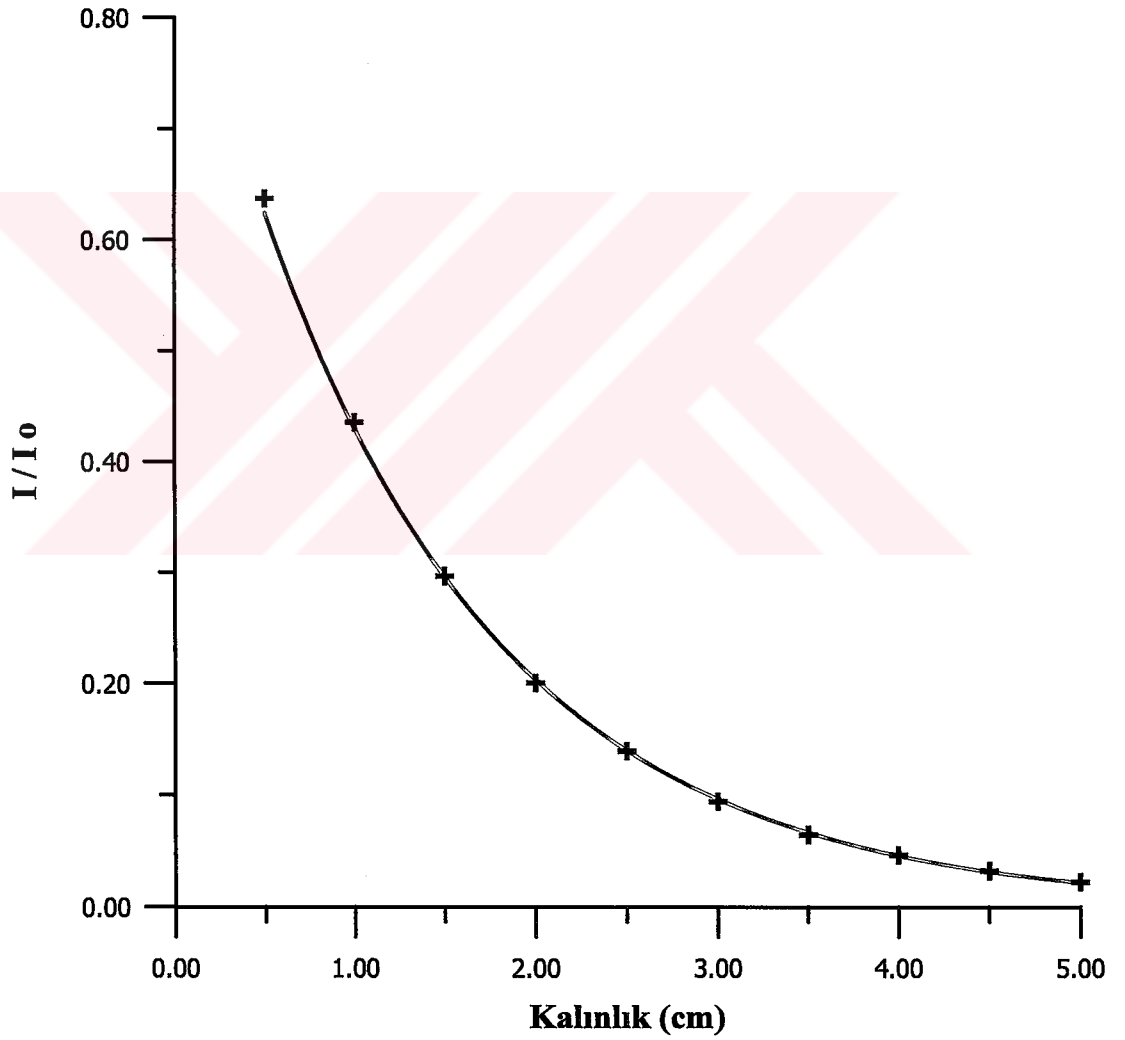
1010 Karbonlu Yapı Çeliğinin Ir-192 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0) : 19008 $\pm$ 89 Doğal Sayım : 1556 $\pm$ 6

Kalınlık (cm)	S a y ı m						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağlı Sayım (I / I ₀)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
0,5	12681	11125	12576	11020	12486	10930	11025	80	0,580
1	9156	7600	9052	7496	8984	7428	7508	71	0,395
1,5	6735	5179	6651	5095	6564	5008	5094	70	0,268
2	5085	3529	5020	3464	4940	3384	3459	59	0,182
2,5	4019	2463	3946	2390	3890	2334	2396	52	0,126
3	3247	1691	3186	1630	3140	1584	1635	44	0,086
3,5	2730	1174	2657	1101	2644	1088	1121	38	0,059
4	2370	814	2336	780	2299	743	779	30	0,041
4,5	2140	584	2104	548	2077	521	551	26	0,029
5	1959	403	1927	371	1922	366	380	16	0,020

5.3.2. Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak 1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Ir-192 Radyoizotop kaynağı kullanılarak 1040 Karbonlu yapı çeliği ile elde edilen deney sonuçları Tablo 5.10'da verilmektedir. Tablo 5.10'dan hareketle 1040 Karbonlu yapı çeliğine ilişkin olarak çizilen grafik Şekil 5.10'da görülmektedir.



Şekil 5.10 Ir-192 Radyoizotop Kaynağı İle 1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları

Tablo 5.10

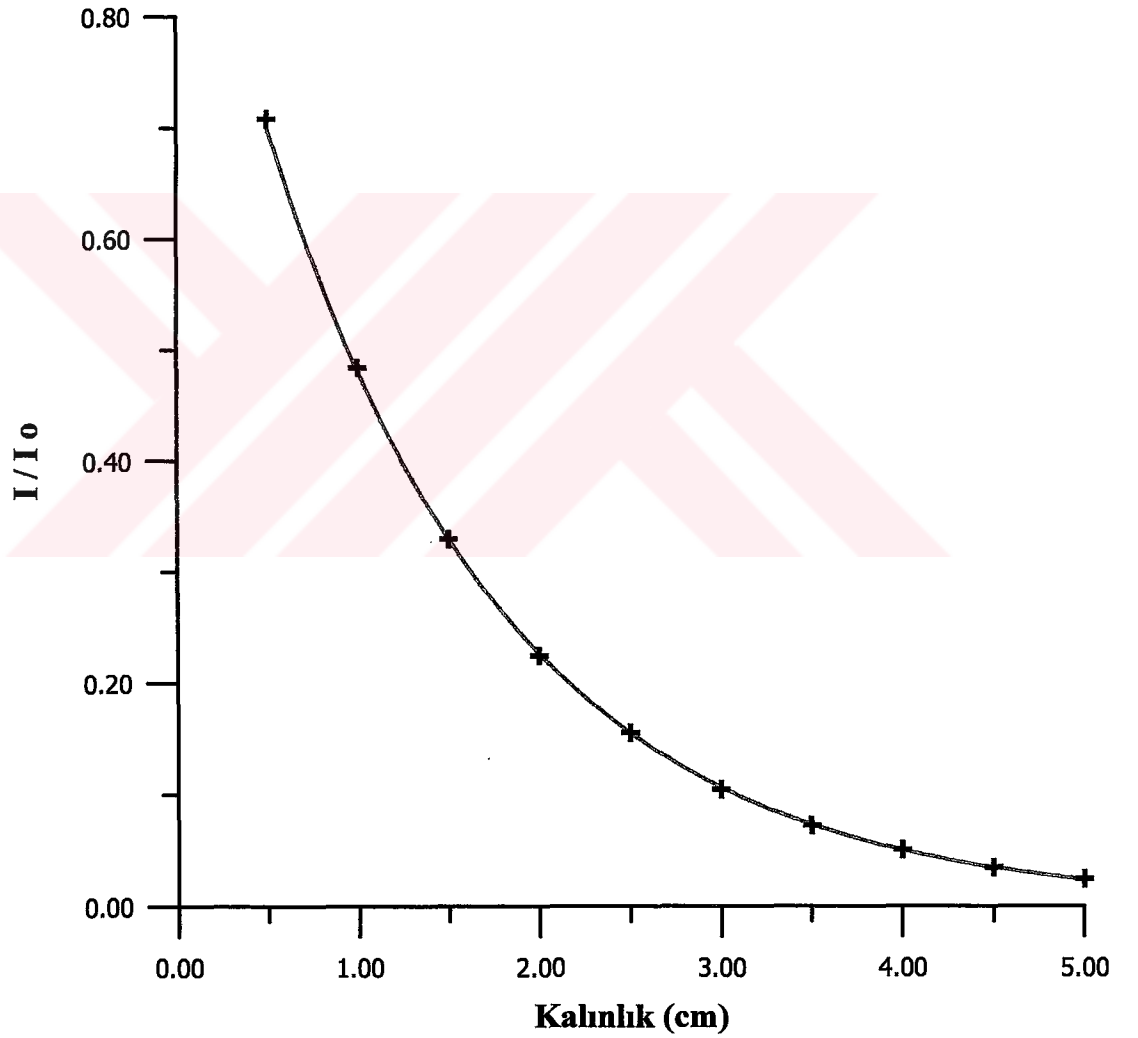
1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Ir-192 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0) : 19356 $\pm$ 84Doğal Sayım : 1419 $\pm$ 7,5

Kalınlık (cm)	S a y ı m						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I / I ₀)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
0,5	13869	12450	13723	12304	13655	12236	12330	89	0,637
1	9939	8520	9832	8413	9746	8327	8420	78	0,435
1,5	7248	5829	7104	5685	7092	5673	5729	71	0,296
2	5370	3951	5268	3849	5232	3813	3871	57	0,200
2,5	4179	2760	4093	2674	4055	2636	2690	52	0,139
3	3304	1885	3212	1793	3198	1779	1819	47	0,094
3,5	2708	1289	2648	1229	2618	1199	1239	37	0,064
4	2349	930	2299	880	2279	860	890	29	0,046
4,5	2067	648	2026	607	2021	602	619	21	0,032
5	1852	433	1850	431	1833	414	426	9	0,022

5.3.3. Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak 1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Ir-192 Radyoizotop kaynağı kullanılarak 1050 Karbonlu yapı çeliği ile elde edilen deney sonuçları Tablo 5.11'de verilmektedir. Tablo 5.11'den hareketle 1050 Karbonlu yapı çeliğine ilişkin olarak çizilen grafik Şekil 5.11'de görülmektedir.



Şekil 5.11 Ir-192 Radyoizotop Kaynağı İle 1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları

Tablo 5.11

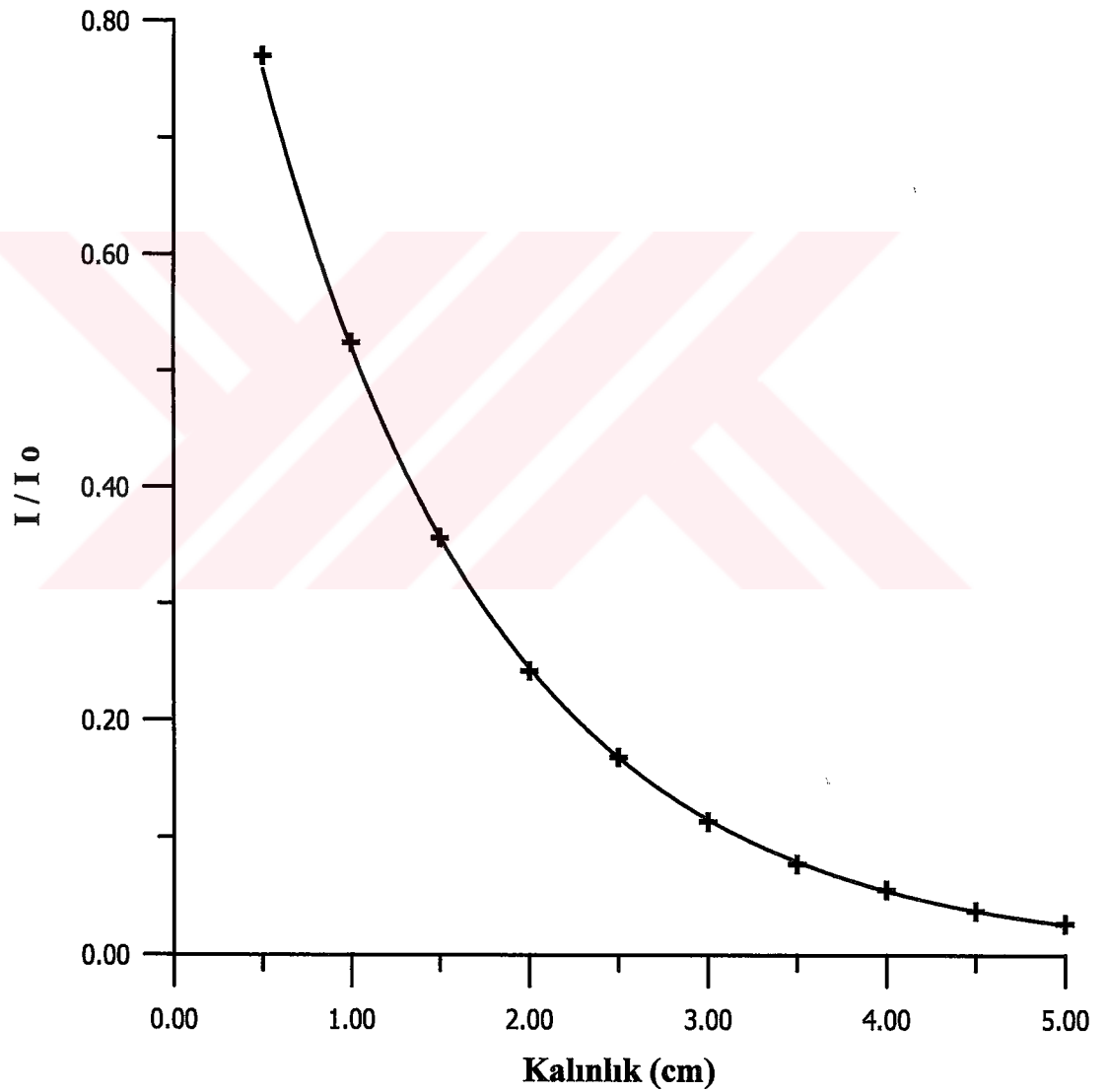
1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Ir-192 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deney Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0) : 20056 $\pm$ 47 Doğal Sayım : 1502 $\pm$ 14

Kalınlık (cm)	S a y ı m						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I / I ₀)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım				
0,5	15815	14313	15719	14217	15572	14070	14200	100	0,708
1	11307	9805	11234	9732	11086	9584	9707	92	0,484
1,5	8180	6678	8128	6626	7992	6490	6598	79	0,329
2	6068	4566	6018	4516	5896	4394	4492	72	0,224
2,5	4679	3177	4638	3136	4516	3014	3109	69	0,155
3	3658	2156	3602	2100	3504	2002	2086	63	0,104
3,5	2999	1497	2975	1473	2864	1362	1444	59	0,072
4	2552	1050	2529	1027	2434	932	1003	51	0,050
4,5	2217	715	2208	706	2127	625	682	41	0,034
5	2002	500	2000	498	1947	445	481	25	0,024

5.3.4. Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak 1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Ir-192 Radyoizotop kaynağı kullanılarak 1090 Karbonlu yapı çeliği ile elde edilen deney sonuçları Tablo 5.12'de verilmektedir. Tablo 5.12'den hareketle 1090 Karbonlu yapı çeliğine ilişkin olarak çizilen grafik Şekil 5.12'de görülmektedir.



Şekil 5.12 Ir-192 Radyoizotop Kaynağı İle 1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Yapılan Deney Sonuçları

Tablo 5.12

1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Ir-192 Radyoizotop Kaynağı Zırhlaması Deneysel Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0) : 20584 $\pm$ 66Doğal Sayım : 1268 $\pm$ 16

Kalınlık (cm)	S a y ı m						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağlı Sayım (I / I ₀)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
0,5	17537	15999	17203	15935	17007	15739	15891	111	0,772
1	12171	10903	12064	10796	11927	10659	10786	100	0,524
1,5	8693	7425	8605	7337	8490	7222	7328	83	0,356
2	6337	5069	6258	4990	6152	4884	4981	76	0,242
2,5	4808	3540	4737	3469	4633	3365	3458	72	0,168
3	3648	2380	3606	2338	3528	2260	2326	50	0,113
3,5	2901	1633	2865	1597	2793	1525	1585	47	0,077
4	2440	1172	2411	1143	2349	1081	1132	38	0,055
4,5	2056	788	2041	773	1993	725	762	27	0,037
5	1825	557	1814	546	1770	502	535	24	0,026

5.4. DENEYSEL SONUÇLARIN MUKAYESELİ DEĞERLENDİRİLMESİ

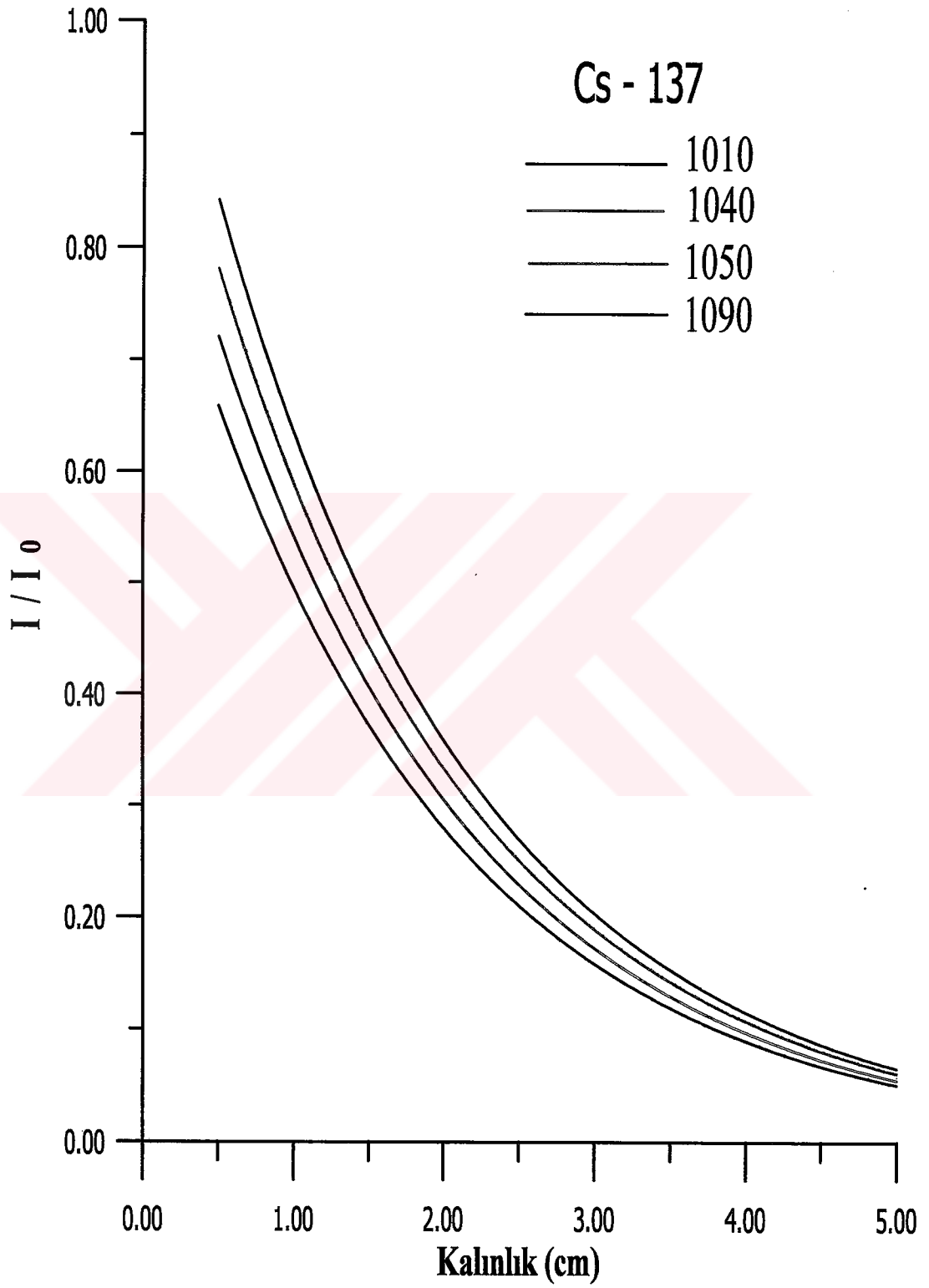
Deneysel sonuçların mukayeseli değerlendirilmesi iki şekilde yapılmıştır. Bunlardan birincisi farklı gama kaynaklarına göre elde edilen deney sonuçlarının mukayeseli değerlendirilmesi, ikincisi farklı yapı çeliklerine göre elde edilen deney sonuçlarının mukayeseli değerlendirilmesidir.

5.4.1. Farklı Gama Kaynaklarına Göre Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi

Farklı gama kaynaklarına göre elde edilen deney sonuçları mukayeseli olarak değerlendirilmiştir. Tablo ve şekiller her gama kaynağı için ayrı ayrı düzenlenmiştir.

5.4.1.1. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi

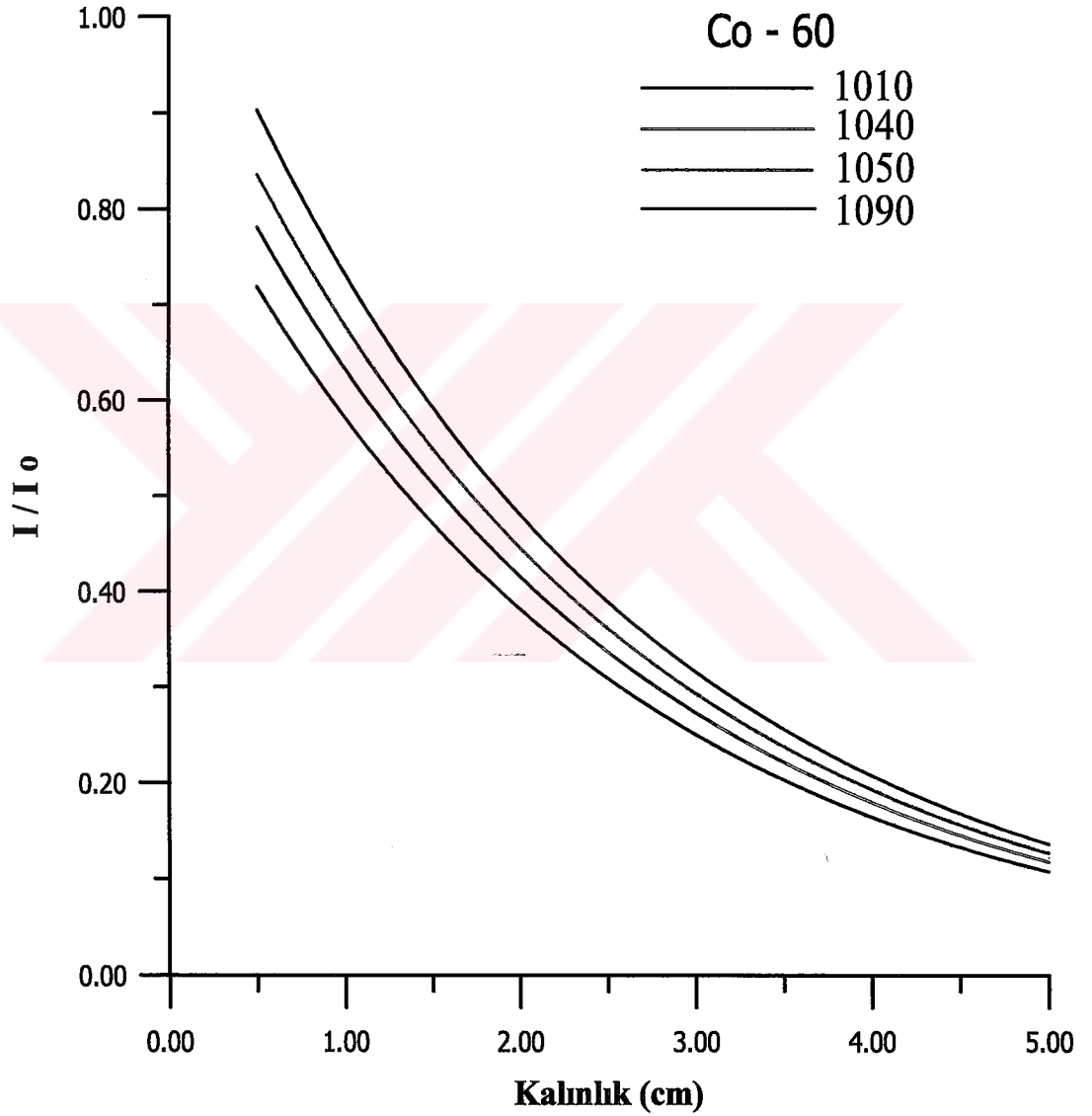
Cs-137 Radyoizotop kaynağı kullanılarak elde edilen deney sonuçları Tablo 5.13'te gösterilmiştir. Tablo 5.13'ten hareketle tüm karbonlu yapı çeliklerine ilişkin olarak çizilen grafik Şekil 5.13'te görülmektedir.



Şekil 5.13 Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle Tüm Karbonlu Yapı Çelikleri İçin Yapılan Deney Sonuçları

5.4.1.2. Co-60 Gama Kaynağına Göre Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi

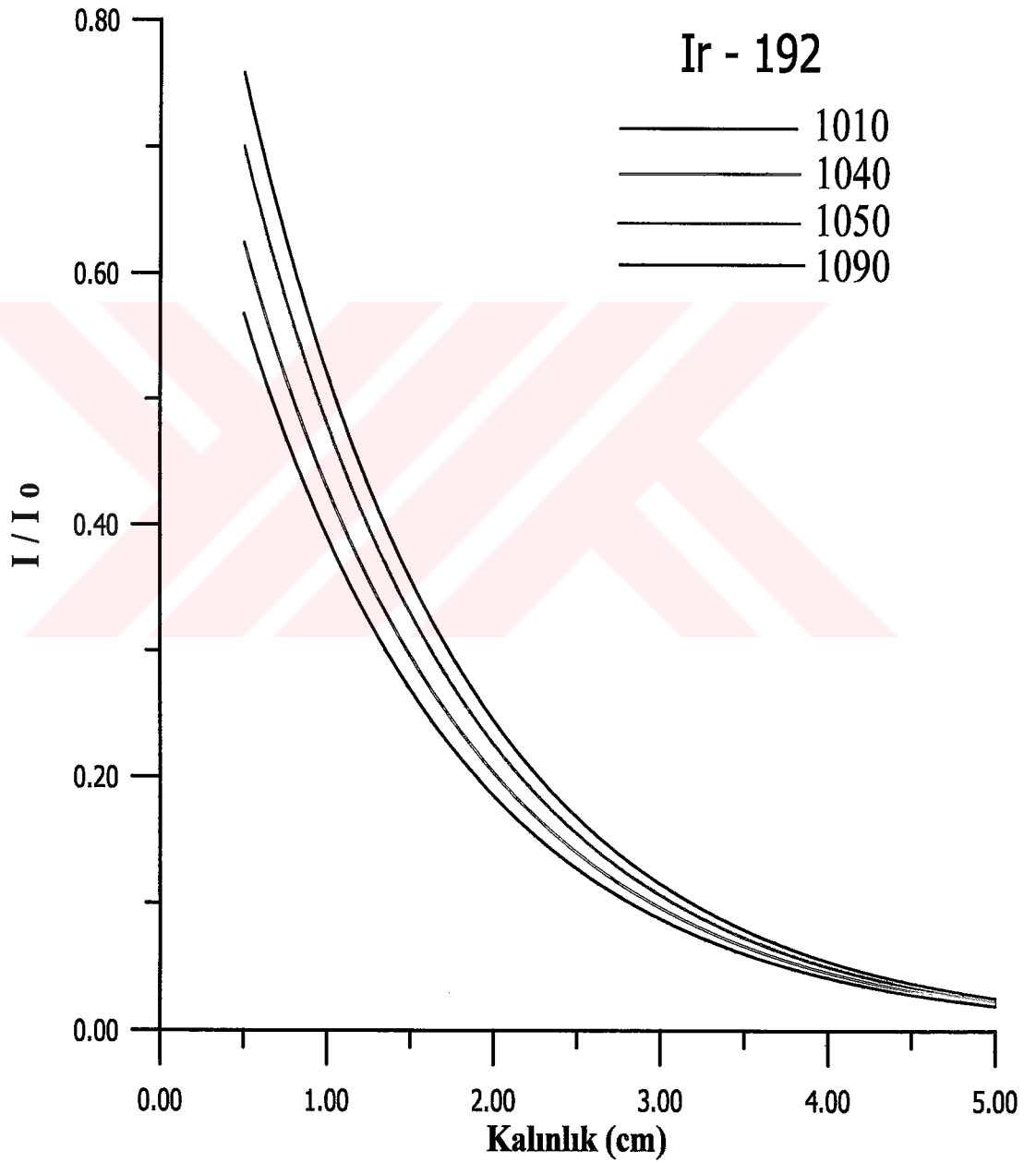
Co-60 Radyoizotop kaynağı kullanılarak elde edilen deney sonuçları Tablo 5.13'te gösterilmiştir. Tablo 5.13'den hareketle tüm karbonlu yapı çeliklerine ilişkin olarak çizilen grafik Şekil 5.14'de görülmektedir.



Şekil 5.14 Co-60 Radyoizotop Kaynağı İle Tüm Karbonlu Yapı Çelikleri İçin Yapılan Deney Sonuçları

5.4.1.3. Ir-192 Gama Kaynağına Göre Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi

Ir-192 Radyoizotop kaynağı kullanılarak elde edilen deney sonuçları Tablo 5.13'te gösterilmiştir. Tablo 5.13'ten hareketle tüm karbonlu yapı çeliklerine ilişkin olarak çizilen grafik Şekil 5.15'de görülmektedir.



Şekil 5.15 Ir-192 Radyoizotop Kaynağı İle Tüm Karbonlu Yapı Çelikleri İçin Yapılan Deney Sonuçları

Tablo 5.13
Tüm Gama Kaynakları Zırhlamalarında Kalınlığa Bağlı Bağlı Sayım Deney Sonuçları

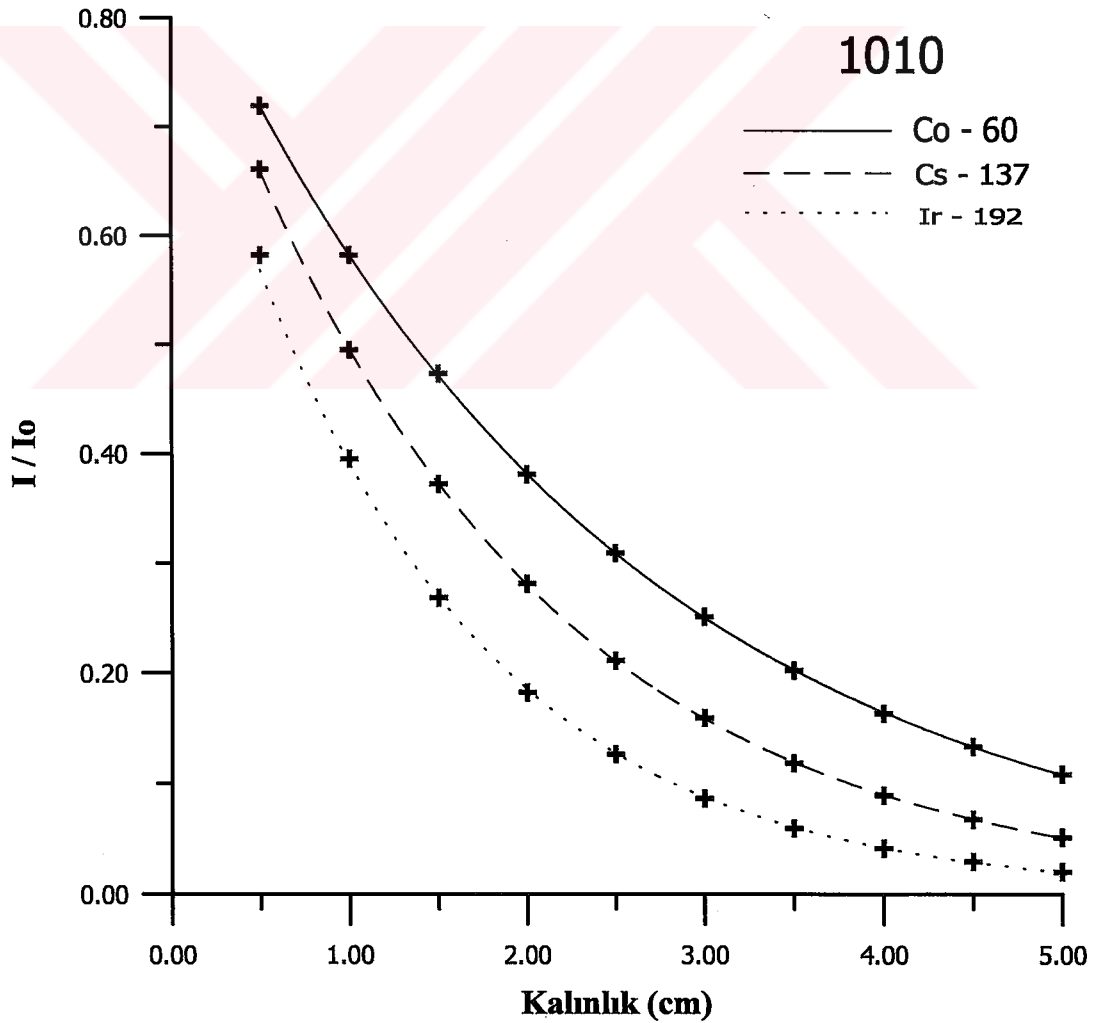
Kalınlık (cm)	Bağlı Sayım Değerleri (I \ I ₀)														
	Co - 60					Cs -137					Ir - 192				
	1010	1040	1050	1090	1010	1040	1050	1090	1010	1040	1050	1090	1010	1040	1090
0,5	0,718	0,783	0,835	0,901	0,658	0,719	0,781	0,840	0,580	0,637	0,708	0,772			
1	0,582	0,634	0,678	0,733	0,495	0,541	0,588	0,634	0,395	0,435	0,484	0,524			
1,5	0,473	0,512	0,549	0,592	0,372	0,406	0,443	0,477	0,268	0,296	0,329	0,356			
2	0,381	0,416	0,446	0,481	0,281	0,307	0,335	0,360	0,182	0,200	0,224	0,242			
2,5	0,309	0,337	0,362	0,390	0,211	0,230	0,251	0,270	0,126	0,139	0,155	0,168			
3	0,251	0,273	0,293	0,316	0,159	0,173	0,189	0,204	0,086	0,094	0,104	0,113			
3,5	0,202	0,220	0,238	0,255	0,118	0,129	0,141	0,152	0,059	0,064	0,072	0,077			
4	0,163	0,179	0,192	0,207	0,089	0,097	0,107	0,115	0,041	0,046	0,050	0,055			
4,5	0,133	0,146	0,157	0,168	0,067	0,073	0,081	0,087	0,029	0,032	0,034	0,037			
5	0,108	0,118	0,126	0,136	0,051	0,055	0,061	0,065	0,020	0,022	0,024	0,026			

5.4.2. Farklı Yapı Çeliklerine Göre Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi

Farklı gama kaynaklarına göre elde edilen deney sonuçları mukayeseli olarak değerlendirilmiştir. Tablo ve şekiller her gama kaynağı için ayrı ayrı düzenlenmiştir.

5.4.2.1. 1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Her Gama Kaynağına Göre Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi

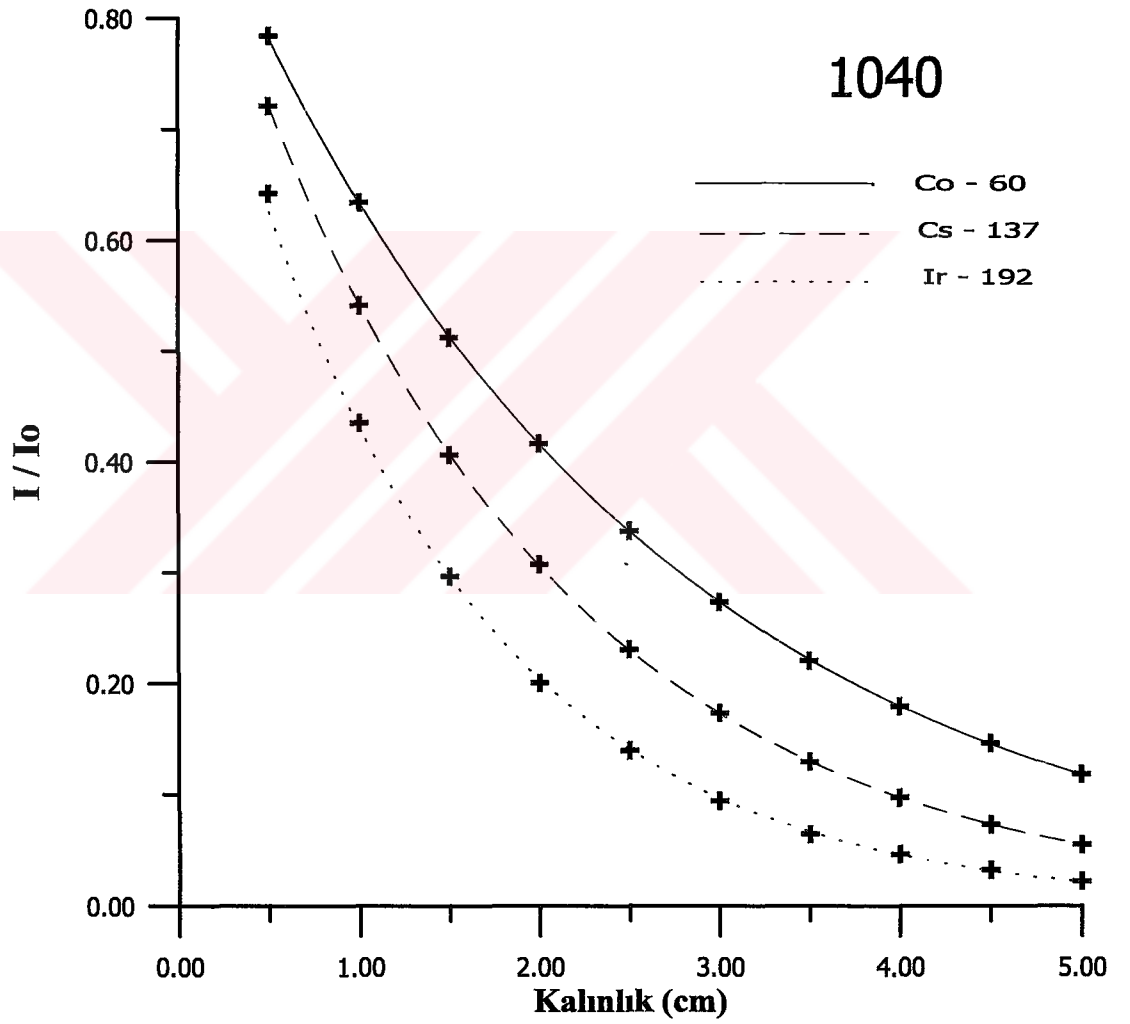
1010 Karbonlu yapı çeliği için her gama kaynağına göre elde edilen deney sonuçları Tablo 5.14'de verilmektedir. Tablo 5.14'den hareketle 1010 Karbonlu yapı çeliğinin tüm gama kaynaklarına ilişkin çizilen grafiği Şekil 5.16'da görülmektedir.



Şekil 5.16 1010 Karbonlu Yapı Çeliğinin Tüm Gama Kaynaklarına İlişkin Bağlı Sayım Kalınlık Değerlendirmesi

5.4.2.2. 1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Her Gama Kaynağına Göre Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi

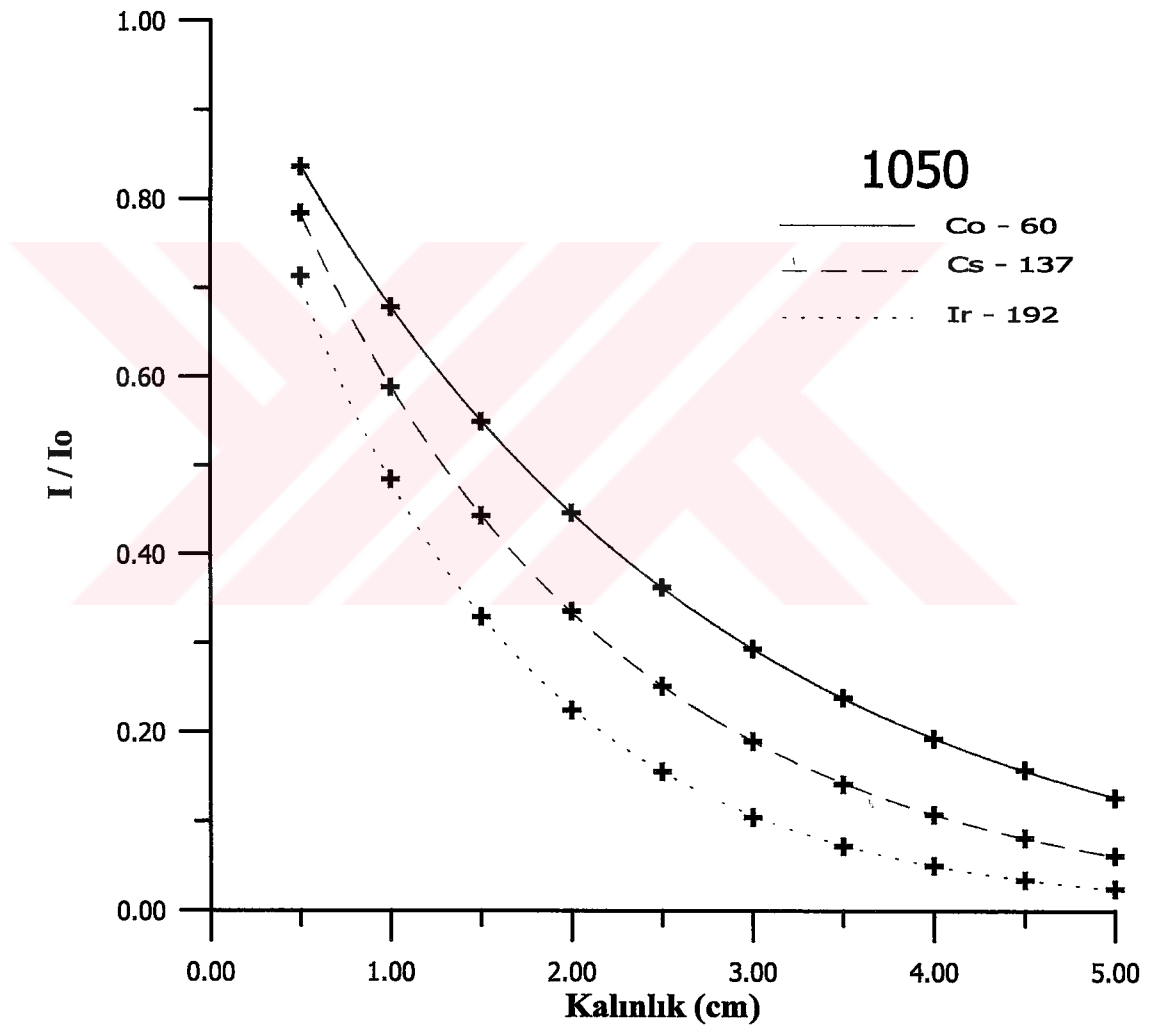
1040 Karbonlu yapı çeliği için her gama kaynağına göre elde edilen deney sonuçları Tablo 5.14'de verilmektedir. Tablo 5.14'den hareketle 1040 Karbonlu yapı çeliğinin tüm gama kaynaklarına ilişkin çizilen grafiği Şekil 5.17'de görülmektedir.



Şekil 5.17 1040 Karbonlu Yapı Çeliğinin Tüm Gama Kaynaklarına İlişkin Bağlı Sayım Kalınlık Değerlendirmesi

5.4.2.3. 1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Her Gama Kaynağına Göre Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi

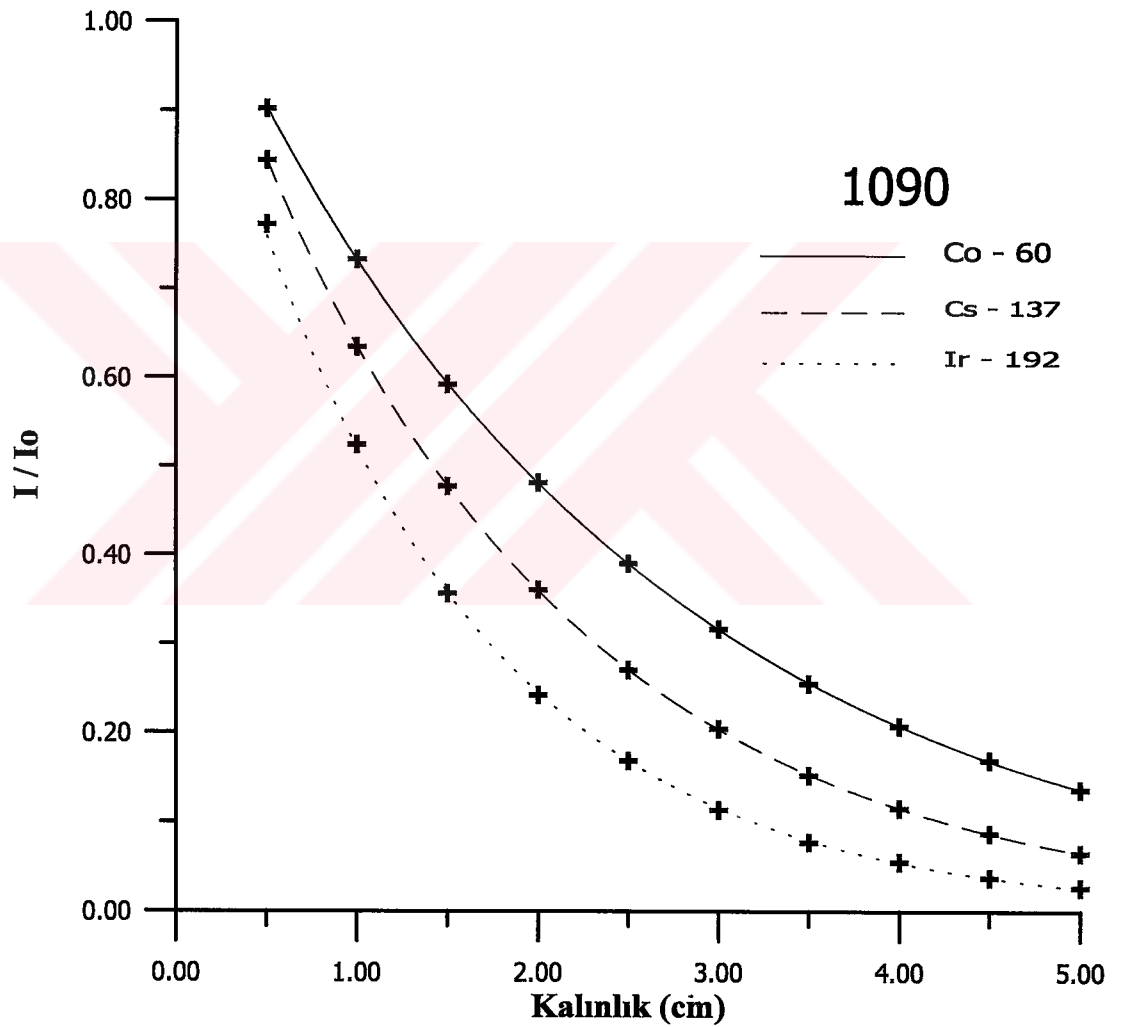
1050 Karbonlu yapı çeliği için her gama kaynağına göre elde edilen deney sonuçları Tablo 5.14'de verilmektedir. Tablo 5.14'den hareketle 1050 Karbonlu yapı çeliğinin tüm gama kaynaklarına ilişkin çizilen grafiği Şekil 5.18'de görülmektedir.



Şekil 5.18 1050 Karbonlu Yapı Çeliğinin Tüm Gama Kaynaklarına İlişkin Bağlı Sayım Kalınlık Değerlendirmesi

5.4.2.4. 1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Her Gama Kaynağına Göre Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi

1090 Karbonlu yapı çeliği için her gama kaynağına göre elde edilen deney sonuçları Tablo 5.14'de verilmektedir. Tablo 5.14'den hareketle 1090 Karbonlu yapı çeliğinin tüm gama kaynaklarına ilişkin çizilen grafiği Şekil 5.19'da görülmektedir.



Şekil 5.19 1090 Karbonlu Yapı Çeliğinin Tüm Gama Kaynaklarına İlişkin Bağlı Sayım Kalınlık Değerlendirmesi

Tablo 5.14

Her Karbonlu Yapı Çeliği İçin Tüm Gama Kaynakları Zırhlamalarında Kalınlığa Bağlı Bağlı Sayım Deney Sonuçları

Kalınlık (cm)	Bağıl Sayım Değerleri (I \ I ₀)											
	1010			1040			1050			1090		
	Co ⁶⁰	Cs ¹³⁷	Ir ¹⁹²	Co ⁶⁰	Cs ¹³⁷	Ir ¹⁹²	Co ⁶⁰	Cs ¹³⁷	Ir ¹⁹²	Co ⁶⁰	Cs ¹³⁷	Ir ¹⁹²
0,5	0,718	0,658	0,580	0,783	0,719	0,637	0,835	0,781	0,708	0,901	0,840	0,772
1	0,582	0,495	0,395	0,634	0,541	0,435	0,678	0,588	0,484	0,733	0,634	0,524
1,5	0,473	0,372	0,268	0,512	0,406	0,296	0,549	0,443	0,329	0,592	0,477	0,356
2	0,381	0,281	0,182	0,416	0,307	0,200	0,446	0,335	0,224	0,481	0,360	0,242
2,5	0,309	0,211	0,126	0,337	0,230	0,139	0,362	0,251	0,155	0,390	0,270	0,168
3	0,251	0,159	0,086	0,273	0,173	0,094	0,293	0,189	0,104	0,316	0,204	0,113
3,5	0,202	0,118	0,059	0,220	0,129	0,064	0,238	0,141	0,072	0,255	0,152	0,077
4	0,163	0,089	0,041	0,179	0,097	0,046	0,192	0,107	0,050	0,207	0,115	0,055
4,5	0,133	0,067	0,029	0,146	0,073	0,032	0,157	0,081	0,034	0,168	0,087	0,037
5	0,108	0,051	0,020	0,118	0,055	0,022	0,126	0,061	0,024	0,136	0,065	0,026

5.5. TEORİK OLARAK HESAPLAMA SONUÇLARI

Numune olarak seçilen karbonlu yapı çeliklerinden 1010, 1040, 1050 ve 1090 çelikleri için karbon, mangan, fosfor ve sülfür alaşım yüzdeleri Tablo 3.2'den alınarak, bolluk yüzde miktarları literatürden alınarak hesaplamalar yapılmıştır (Mcmaster, 1963). Hesaplamalar Denklem 5.1'de yerine konarak teorik olarak yapılmıştır.

$$\frac{I}{I_0} = \sum_{i=1}^N f_i e^{-\sum_{j=1}^P g_{ij} \mu_j x} \quad (5.1)$$

Burada;

f_i i'inci enerji pikinin bolluk yüzdesini, g alaşım yüzde miktarını, μ_j j'inci alaşım elementinin absorblanma katsayısını, N radyoizotopun enerji piki sayısı, P alaşımdaki element sayısını, x numunenin kalınlığını ifade etmektedir. Her bir numune için ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır. Co-60 gama kaynağı ile ilgili teorik hesaplama sonuçları, Cs-137 gama kaynağı ile ilgili teorik hesaplama sonuçları ve Ir-192 gama kaynağı ile ilgili teorik hesaplama sonuçları toplu olarak Tablo 5.15'de verilmiştir.

5.6. DENEYSEL VE TEORİK HESAPLAMA SONUÇLARININ MUKAYESELİ DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneysel ve teorik hesaplama sonuçlarının mukayeseli değerlendirilmesi Tablo 5.16 - Tablo 5.19'dan hareketle çizilen grafiklerde verilmektedir.

Deneysel ölçümlerde yapılan hatanın hesaplanmasıyla yapılmıştır. Deneysel ve teorik sonuçların rasyonel karşılaştırılması için hata hesaplaması yoluna gidilmiştir. Bağlı sayım değerleri teorik bağlı sayım hesaplama sonuçları ile karşılaştırılmış ve bu karşılaştırılma sonucunda deneysel ölçümlerde yapılan bağlı hata hesaplanmıştır.

1010, 1040, 1050 ve 1090 Karbonlu yapı çeliklerinin her üç gama kaynağıyla yapılan deneylere ait bağlı hata hesapları Tablo 5.16 - Tablo 5.19'da verilmiştir.

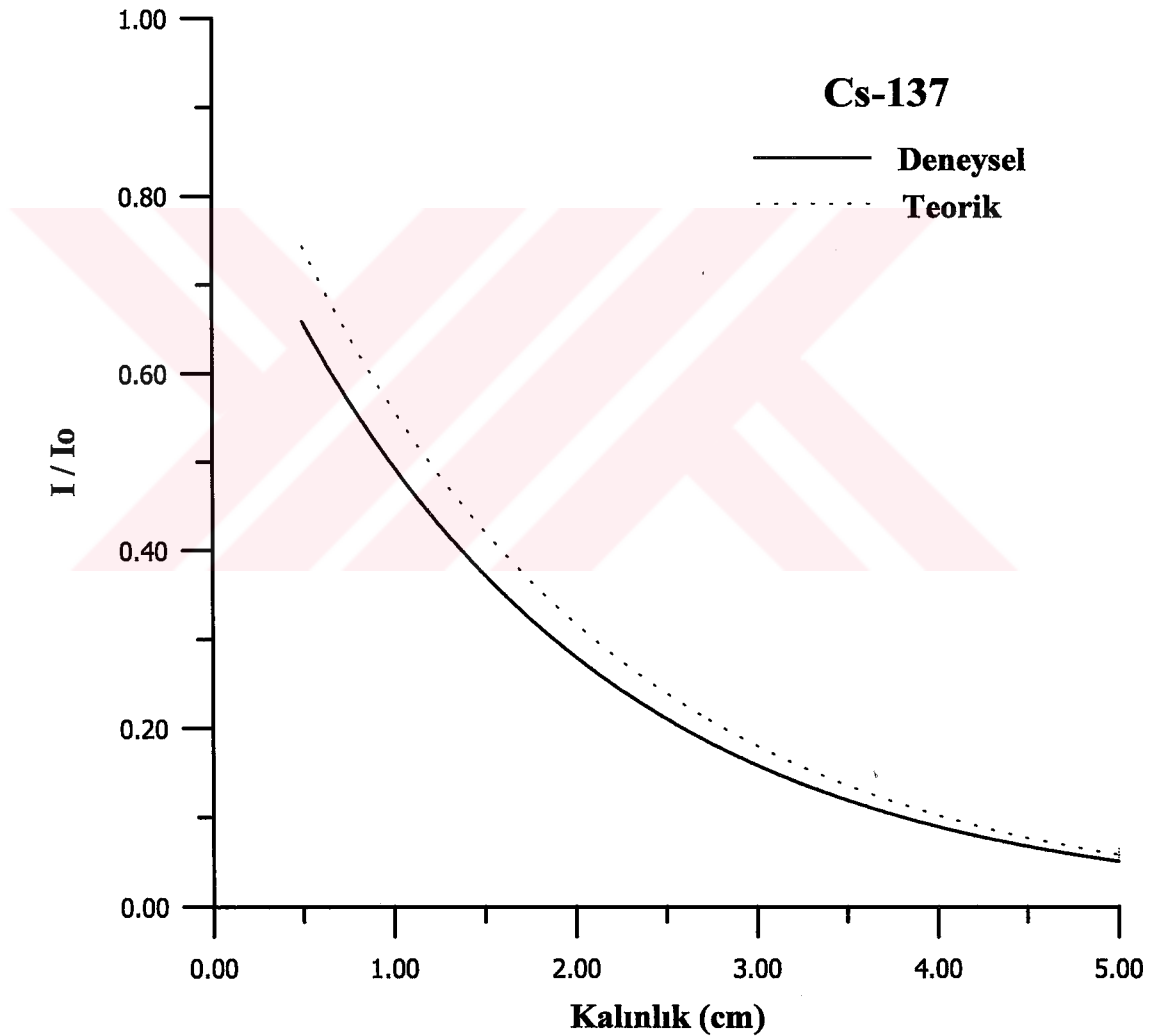
Tablo 5.15

Tüm Gama Kaynakları Zırhlamalarında Kalınlığa Bağlı Bağlı Sayım Değerlerinin Teorik Hesaplama Sonuçları

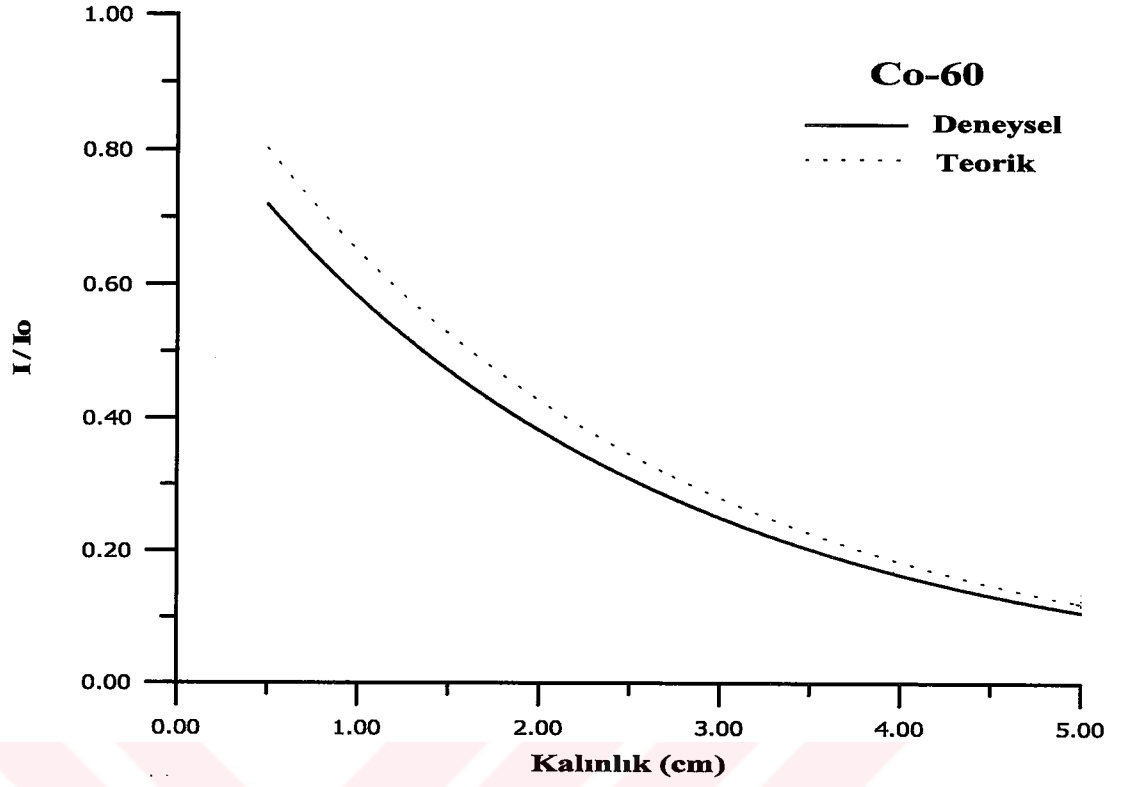
Kalınlık (cm)	Bağlı Sayım Değerleri (I \ I ₀)														
	Co - 60					Cs -137					Ir - 192				
	1010	1040	1050	1090	1010	1040	1050	1090	1010	1040	1050	1090	1010	1040	1090
0,5	0,801	0,810	0,813	0,817	0,747	0,752	0,754	0,762	0,628	0,648	0,658	0,677			
1	0,652	0,655	0,657	0,660	0,555	0,561	0,569	0,575	0,429	0,445	0,449	0,450			
1,5	0,522	0,527	0,537	0,542	0,415	0,422	0,431	0,436	0,309	0,312	0,312	0,312			
2	0,421	0,426	0,436	0,451	0,318	0,320	0,322	0,325	0,211	0,212	0,213	0,214			
2,5	0,346	0,347	0,349	0,353	0,237	0,240	0,243	0,244	0,143	0,145	0,146	0,149			
3	0,281	0,283	0,284	0,286	0,178	0,181	0,182	0,184	0,098	0,099	0,099	0,100			
3,5	0,228	0,229	0,229	0,232	0,133	0,135	0,136	0,137	0,067	0,068	0,068	0,069			
4	0,183	0,184	0,185	0,187	0,101	0,102	0,102	0,103	0,047	0,048	0,048	0,049			
4,5	0,149	0,151	0,151	0,152	0,075	0,077	0,077	0,078	0,032	0,032	0,033	0,034			
5	0,121	0,122	0,122	0,123	0,057	0,058	0,058	0,059	0,021	0,022	0,022	0,023			

5.6.1. 1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Her Gama Kaynağına Göre Elde Edilen Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Mukayeseli Değerlendirilmesi

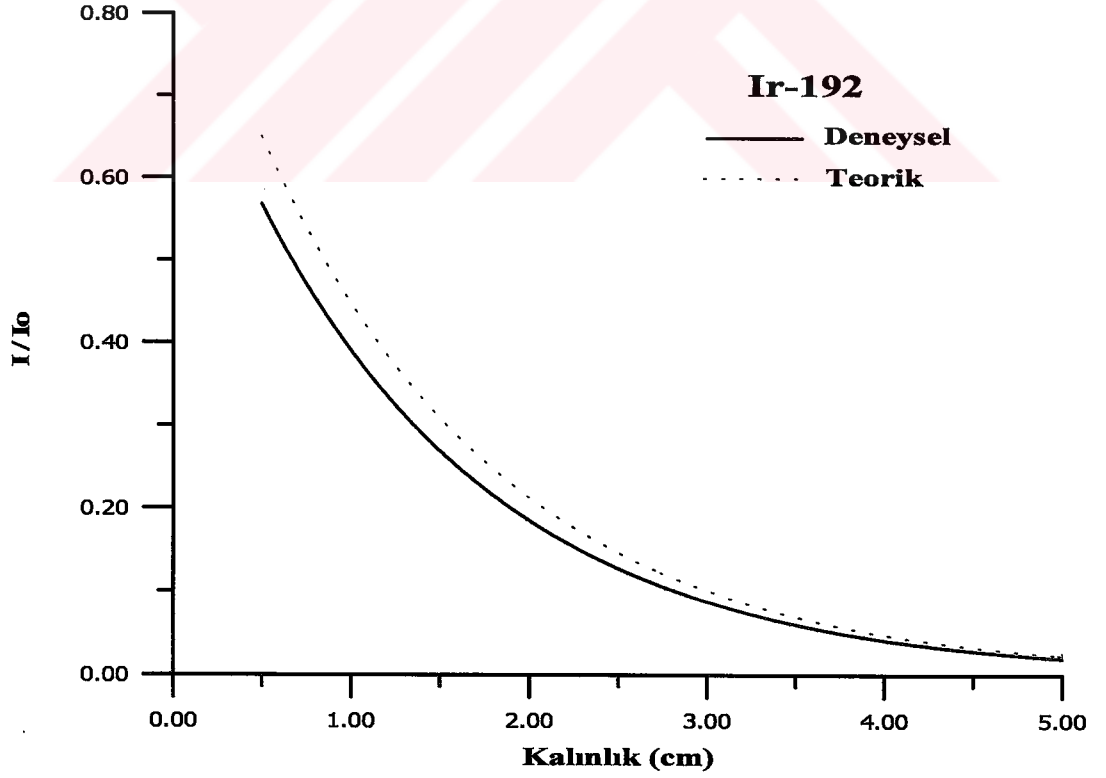
1010 Karbonlu yapı çeliği için her gama kaynağına göre elde edilen deney sonuçları Tablo 5.16'da verilmektedir. Tablo 5.16'dan hareketle 1010 Karbonlu yapı çeliğinin tüm gama kaynaklarına ilişkin çizilen grafikler Şekil 5.20 - Şekil 5.22'de görülmektedir.



Şekil 5.20 1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Cs-137 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması



Şekil 5.21 1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Co-60 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması



Şekil 5.22 1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Ir-192 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

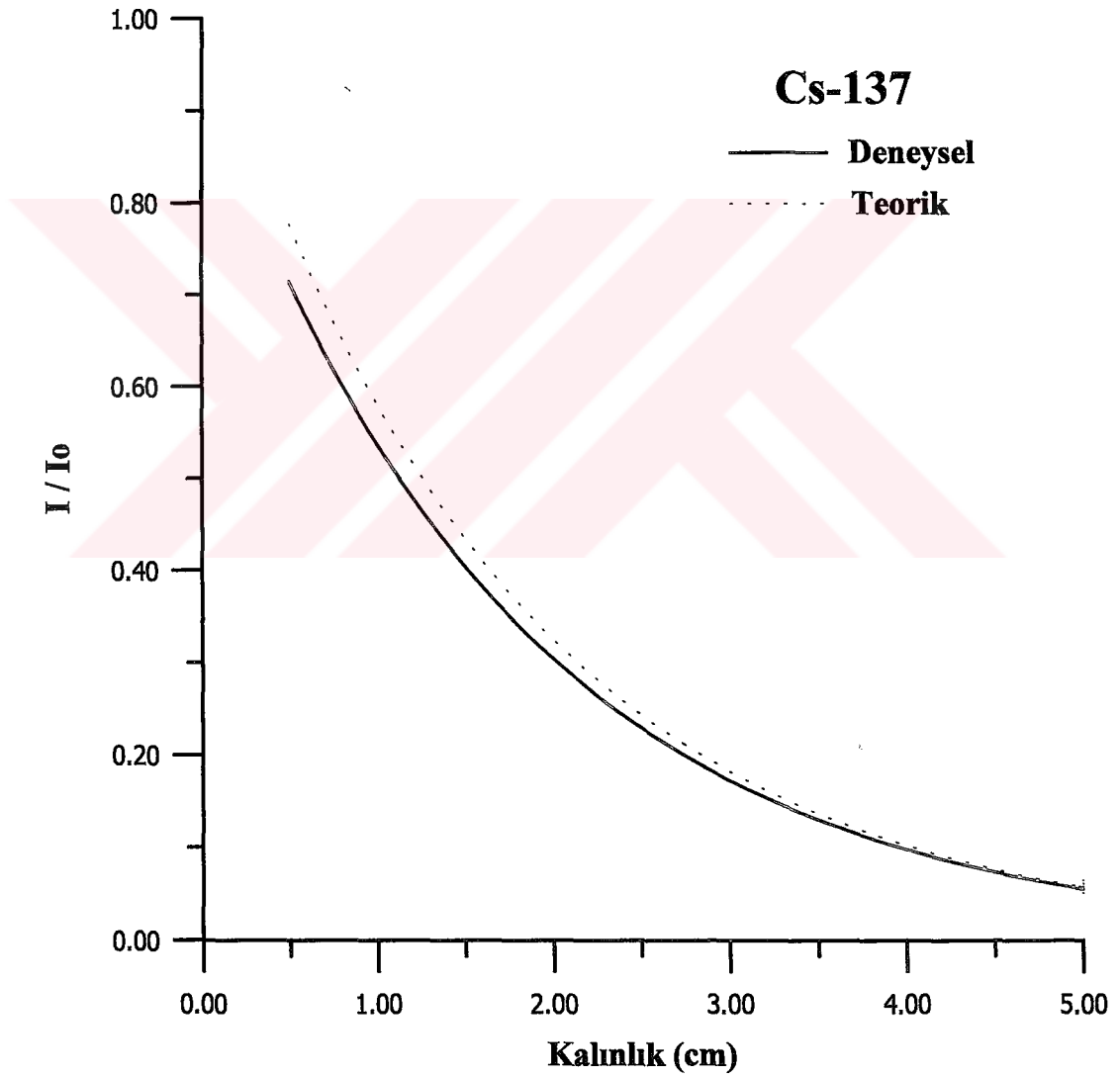
Tablo 5.16

1010 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Tüm Gama Kaynakları Zırhlamalarında Bağlı Hata Hesaplama Sonuçları

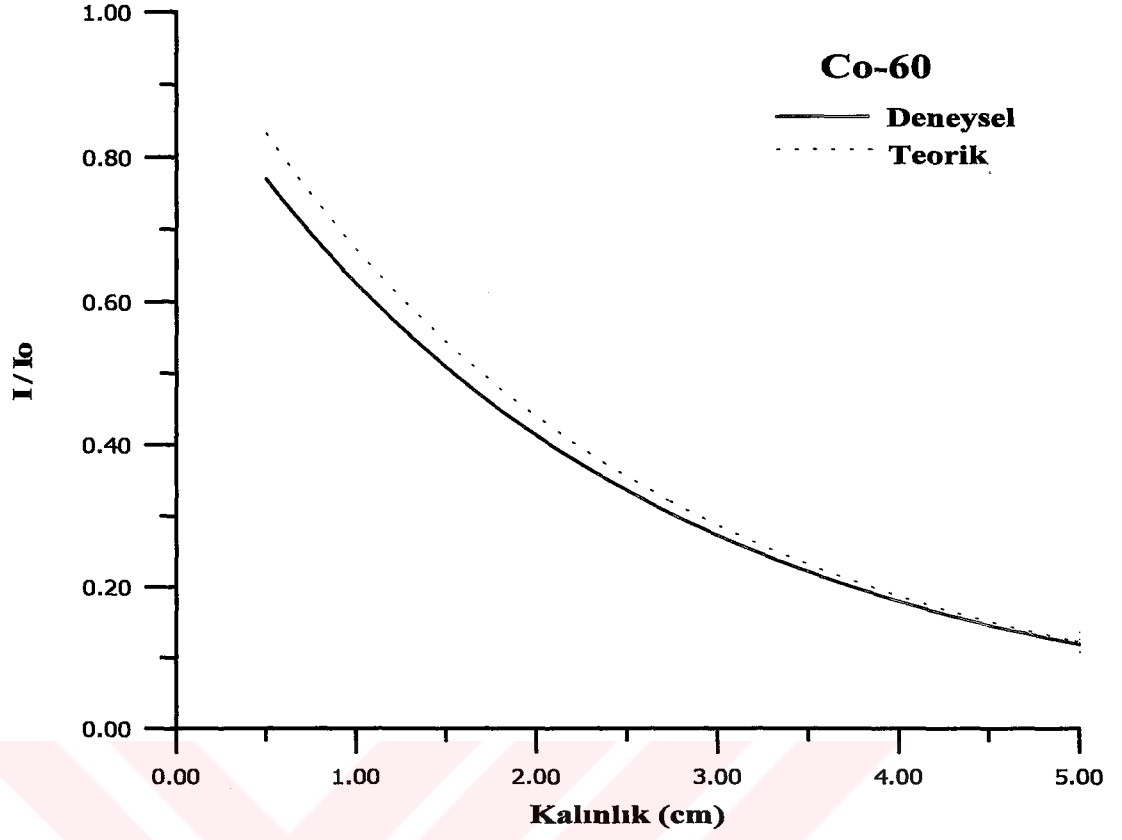
Kalınlık (cm)	1010 Karbonlu Yapı Çeliği											
	Cs-137				Co-60				Ir-192			
	Deneyisel Değer	Teorik Değer	Hata %	Deneyisel Değer	Teorik Değer	Hata %	Deneyisel Değer	Teorik Değer	Hata %	Deneyisel Değer	Teorik Değer	Hata %
0,5	0,658	0,747	- 12,500	0,718	0,801	- 11,358	0,580	0,628	- 14,328	0,580	0,628	- 14,328
1	0,495	0,555	- 12,389	0,582	0,652	- 11,416	0,395	0,429	- 13,943	0,395	0,429	- 13,943
1,5	0,372	0,415	- 12,471	0,473	0,522	- 11,090	0,268	0,309	- 14,103	0,268	0,309	- 14,103
2	0,281	0,318	- 12,188	0,381	0,421	- 11,601	0,182	0,211	- 14,151	0,182	0,211	- 14,151
2,5	0,211	0,237	- 12,083	0,309	0,346	- 11,461	0,126	0,143	- 14,286	0,126	0,143	- 14,286
3	0,159	0,178	- 12,155	0,251	0,281	- 11,307	0,086	0,098	- 13,131	0,086	0,098	- 13,131
3,5	0,118	0,133	- 12,593	0,202	0,228	- 11,179	0,059	0,067	- 13,235	0,059	0,067	- 13,235
4	0,089	0,101	- 12,745	0,163	0,183	- 11,892	0,041	0,047	- 14,583	0,041	0,047	- 14,583
4,5	0,067	0,075	- 12,987	0,133	0,149	- 11,921	0,029	0,032	- 12,121	0,029	0,032	- 12,121
5	0,051	0,057	- 12,069	0,108	0,121	- 11,475	0,020	0,021	- 13,043	0,020	0,021	- 13,043

5.6.2. 1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Her Gama Kaynağına Göre Elde Edilen Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Mukayeseli Değerlendirilmesi

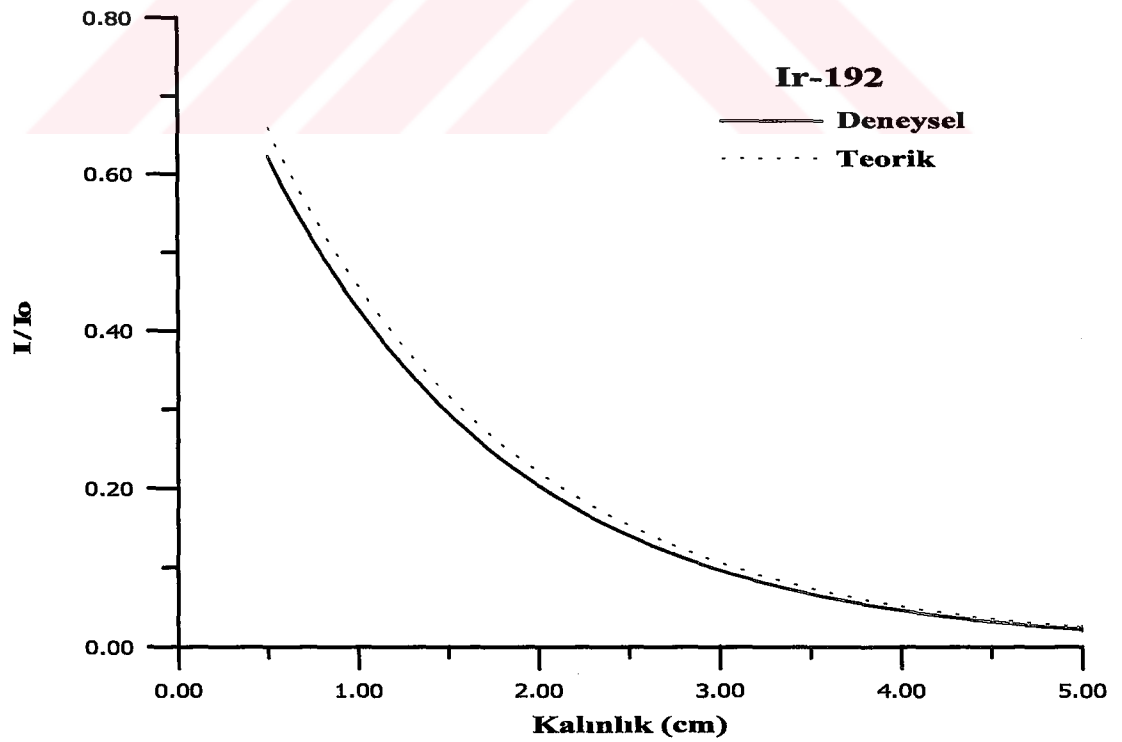
1040 Karbonlu yapı çeliği için her gama kaynağına göre elde edilen deney sonuçları Tablo 5.17'de verilmektedir. Tablo 5.17'den hareketle 1040 Karbonlu yapı çeliğinin tüm gama kaynaklarına ilişkin çizilen grafikler Şekil 5.23 - Şekil 5.25'te görülmektedir.



Şekil 5.23 1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Cs-137 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması



Şekil 5.24 1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Co-60 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması



Şekil 5.25 1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Ir-192 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

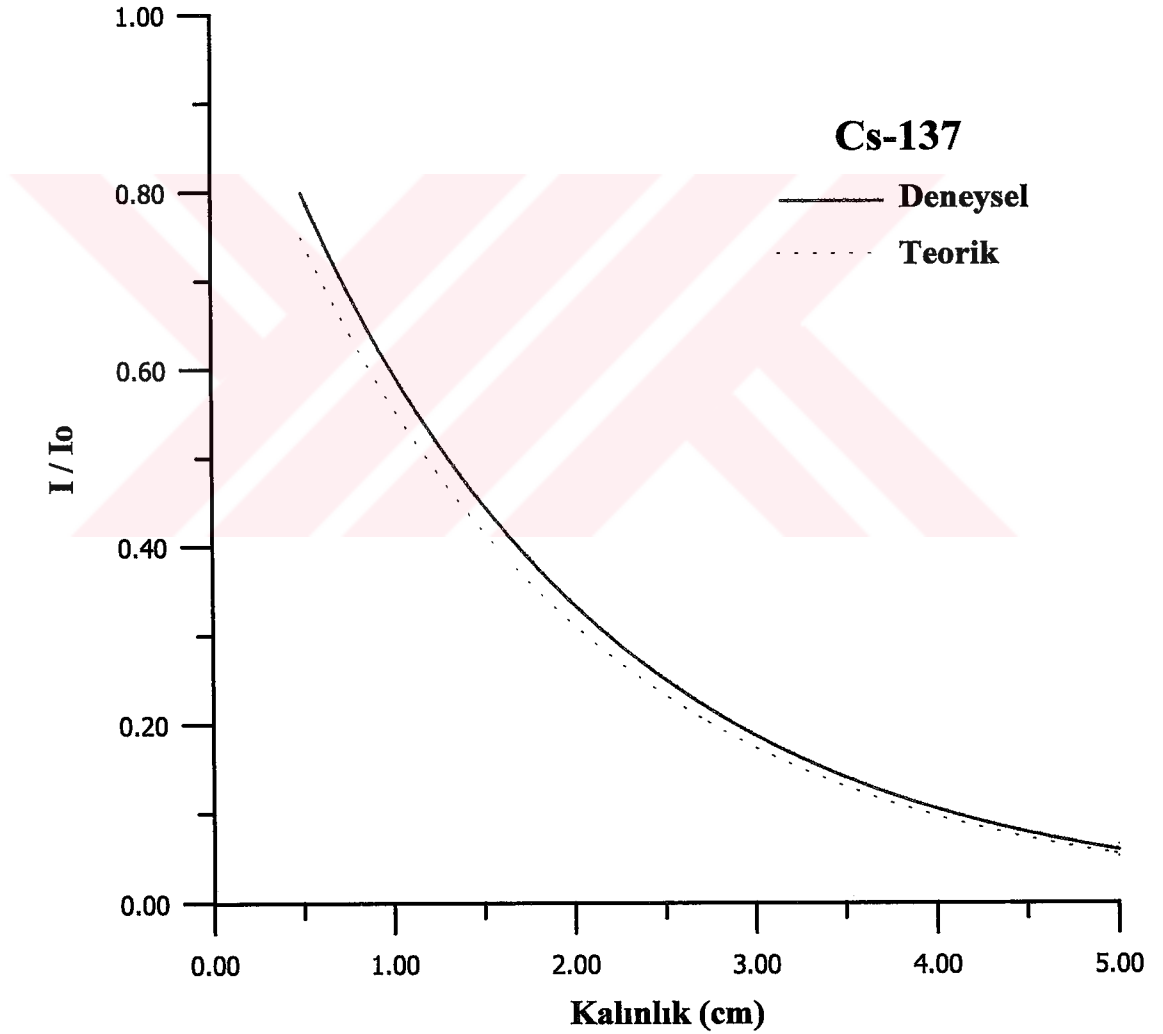
Tablo 5.17

1040 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Tüm Gama Kaynakları Zırhlamalarında Bağlı Hata Hesaplama Sonuçları

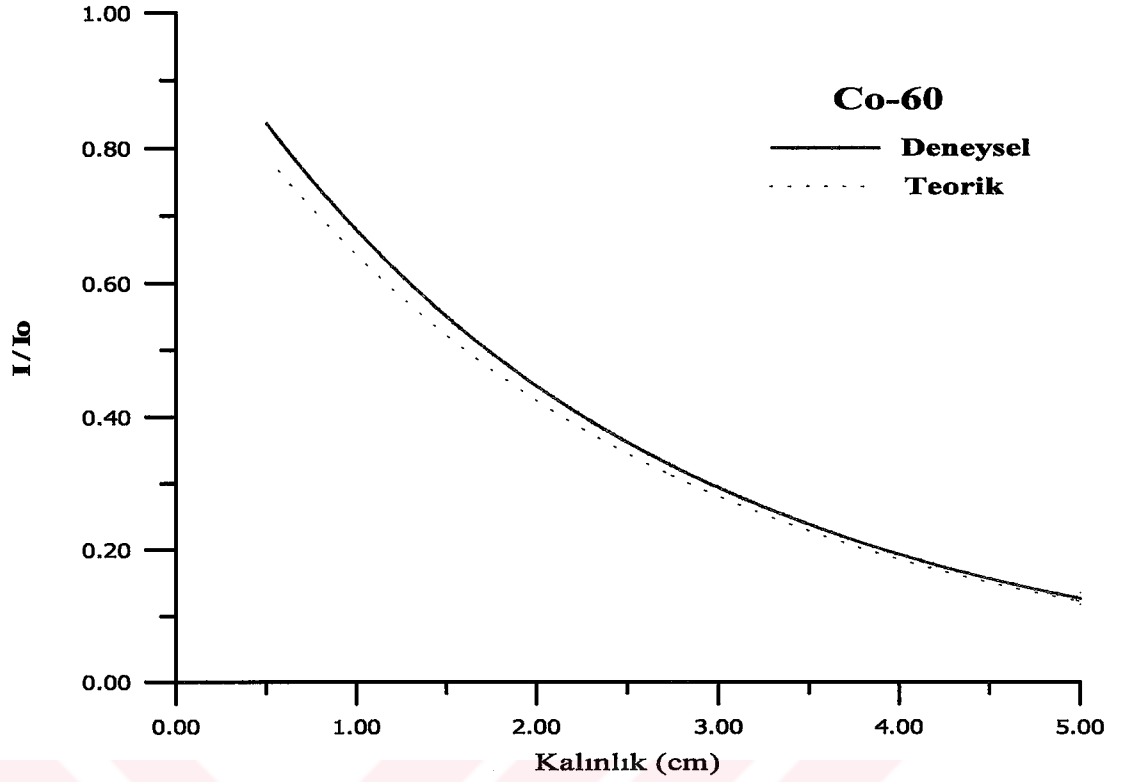
Kalınlık (cm)	1040 Karbonlu Yapı Çeliği											
	Cs-137				Co-60				Ir-192			
	Deneyisel Değer	Teorik Değer	Hata %	Deneyisel Değer	Teorik Değer	Hata %	Deneyisel Değer	Teorik Değer	Hata %	Deneyisel Değer	Teorik Değer	Hata %
0,5	0,719	0,752	-4,388	0,783	0,810	-3,333	0,637	0,648	-1,079	0,637	0,648	-1,079
1	0,541	0,561	-3,565	0,634	0,655	-3,206	0,435	0,445	-2,247	0,435	0,445	-2,247
1,5	0,406	0,422	-3,791	0,512	0,527	-2,846	0,296	0,312	-5,128	0,296	0,312	-5,128
2	0,307	0,320	-4,063	0,416	0,426	-2,347	0,200	0,212	-5,66	0,200	0,212	-5,66
2,5	0,230	0,240	-4,167	0,337	0,347	-2,882	0,139	0,145	-4,138	0,139	0,145	-4,138
3	0,173	0,181	-4,42	0,273	0,283	-3,534	0,094	0,099	-5,051	0,094	0,099	-5,051
3,5	0,129	0,135	-4,444	0,220	0,229	-3,93	0,064	0,068	-5,882	0,064	0,068	-5,882
4	0,097	0,102	-4,902	0,179	0,184	-2,717	0,046	0,048	-4,167	0,046	0,048	-4,167
4,5	0,073	0,077	-5,195	0,146	0,151	-3,311	0,032	0,032	-3,03	0,032	0,032	-3,03
5	0,055	0,058	-5,172	0,118	0,122	-3,279	0,022	0,022	-4,348	0,022	0,022	-4,348

5.6.3. 1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Her Gama Kaynağına Göre Elde Edilen Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Mukayeseli Değerlendirilmesi

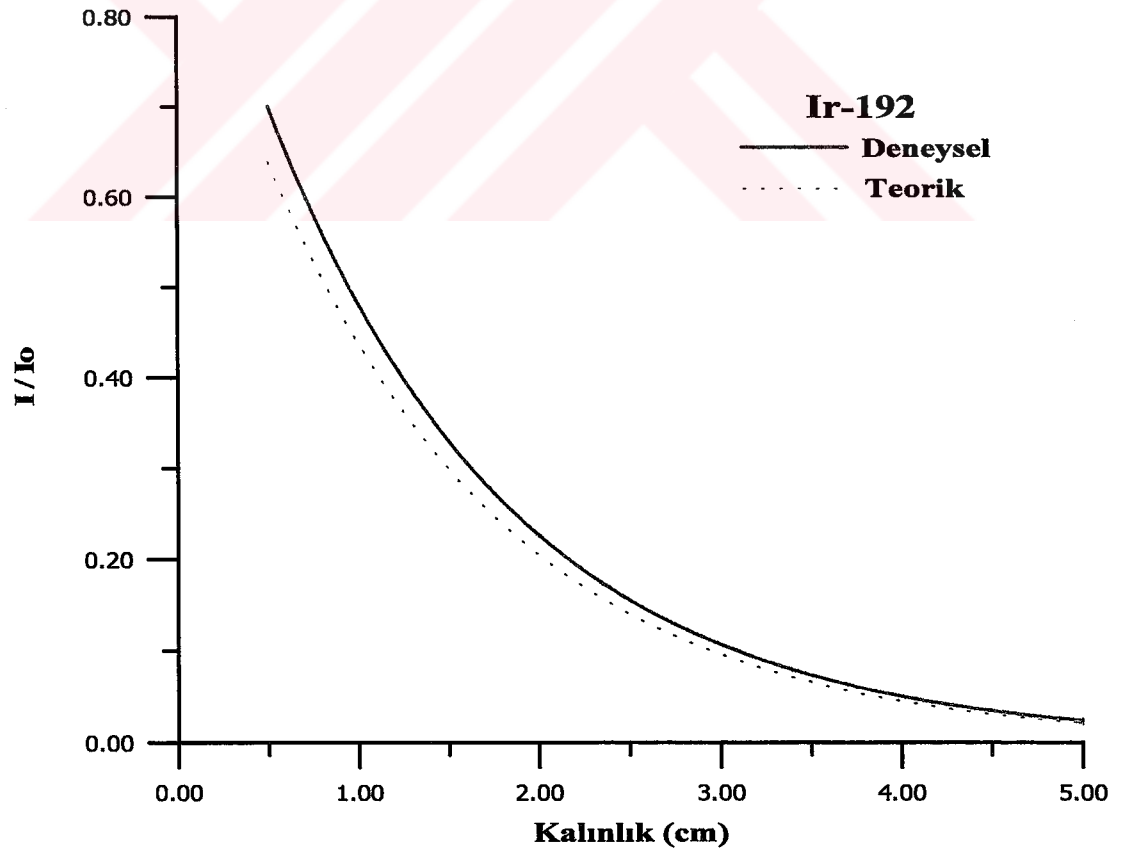
1050 Karbonlu yapı çeliği için her gama kaynağına göre elde edilen deney sonuçları Tablo 5.18'de verilmektedir. Tablo 5.18'den hareketle 1050 Karbonlu yapı çeliğinin tüm gama kaynaklarına ilişkin çizilen grafikler Şekil 5.26 - Şekil 5.28'de görülmektedir.



Şekil 5.26 1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Cs-137 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması



Şekil 5.27 1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Co-60 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması



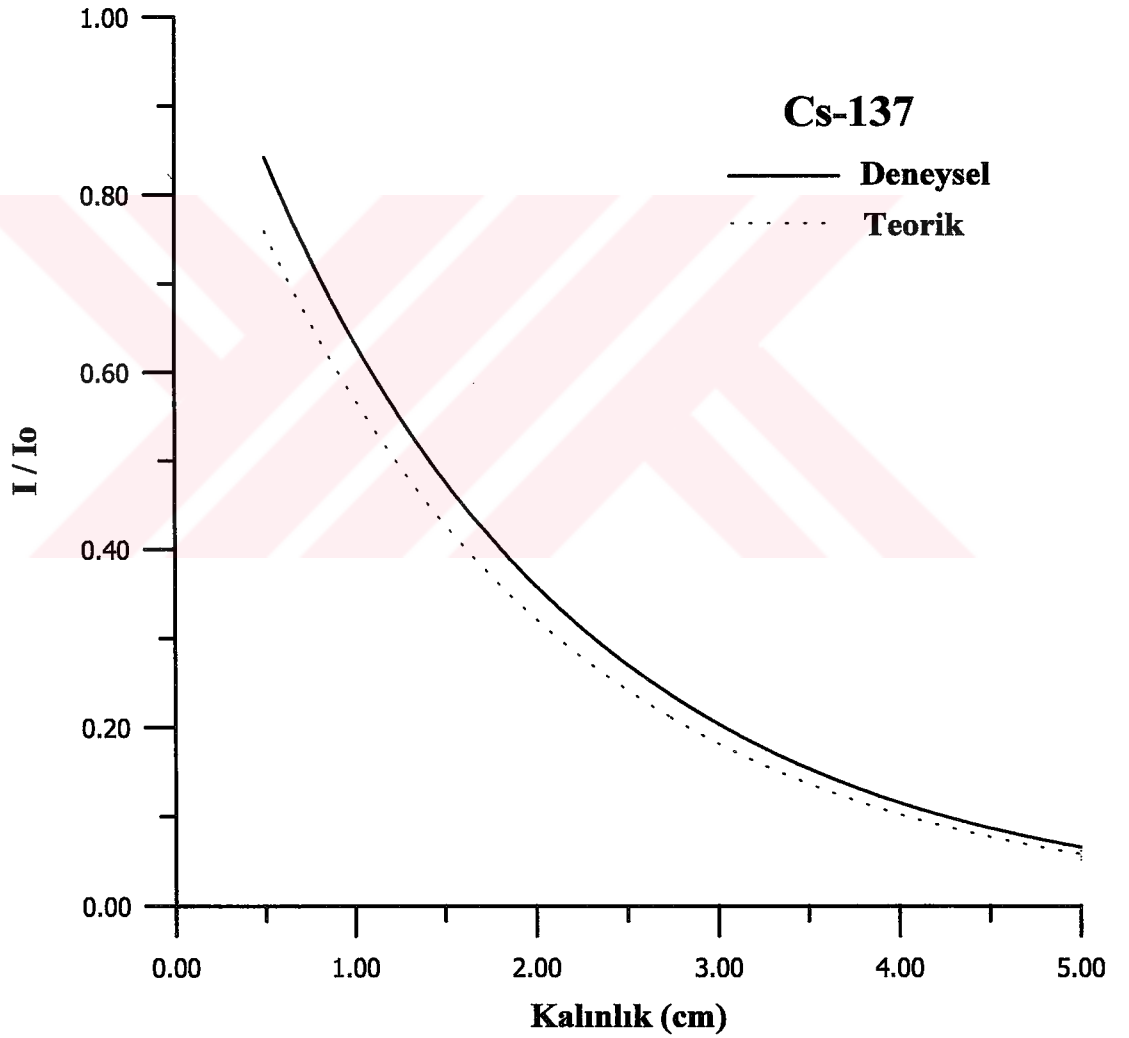
Şekil 5.28 1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Ir-192 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

Tablo 5.18
1050 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Tüm Gama Kaynakları Zırhlamalarında Bağlı Hata Hesaplama Sonuçları

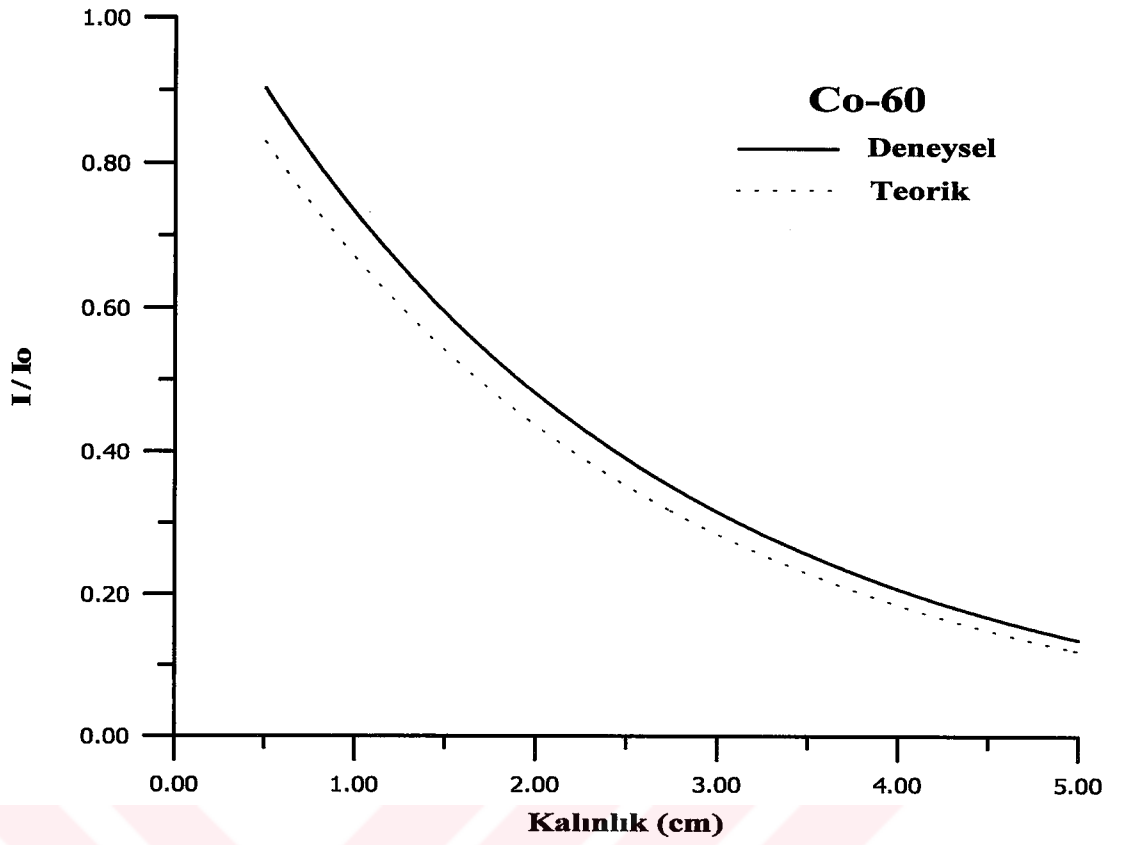
Kalınlık (cm)	1050 Karbonlu Yapı Çeliği											
	Cs-137				Co-60				Ir-192			
	Deneyisel Değer	Teorik Değer	Hata %	Deneyisel Değer	Teorik Değer	Hata %	Deneyisel Değer	Teorik Değer	Hata %	Deneyisel Değer	Teorik Değer	Hata %
0,5	0,781	0,754	3,581	0,835	0,813	2,706	0,708	0,658	8,359			
1	0,588	0,569	3,339	0,678	0,657	3,196	0,484	0,449	7,795			
1,5	0,443	0,431	2,784	0,549	0,537	2,235	0,329	0,312	5,449			
2	0,335	0,322	4,037	0,446	0,436	2,294	0,224	0,213	5,164			
2,5	0,251	0,243	3,292	0,362	0,349	3,725	0,155	0,146	6,164			
3	0,189	0,182	3,846	0,293	0,284	3,169	0,104	0,099	5,050			
3,5	0,141	0,136	3,677	0,238	0,229	3,930	0,072	0,068	5,882			
4	0,107	0,102	4,902	0,192	0,185	3,784	0,050	0,048	4,167			
4,5	0,081	0,077	5,195	0,157	0,151	3,974	0,034	0,033	3,030			
5	0,061	0,058	5,172	0,126	0,122	3,279	0,024	0,022	9,091			

5.6.4. 1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Her Gama Kaynağına Göre Elde Edilen Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Mukayeseli Değerlendirilmesi

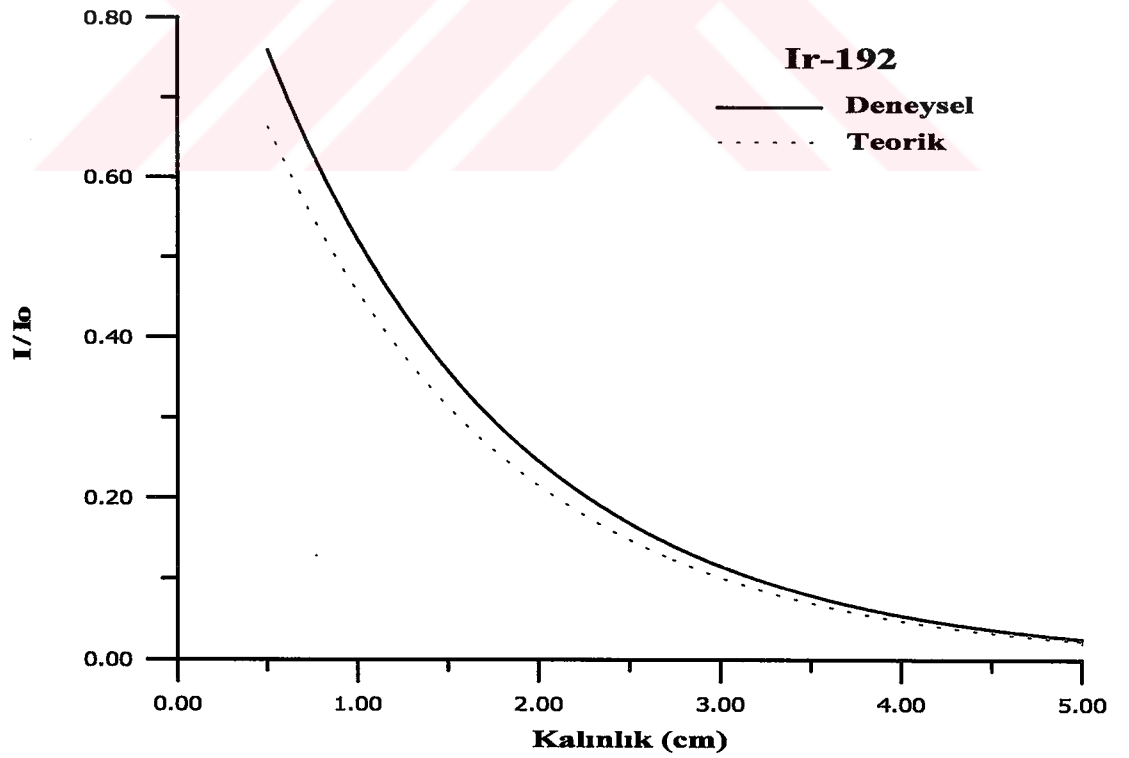
1090 Karbonlu yapı çeliği için her gama kaynağına göre elde edilen deney sonuçları Tablo 5.19'da verilmektedir. Tablo 5.19'dan hareketle 1090 Karbonlu yapı çeliğinin tüm gama kaynaklarına ilişkin çizilen grafikler Şekil 5.29 - Şekil 5.31'de görülmektedir.



Şekil 5.29 1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Cs-137 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması



Şekil 5.30 1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Co-60 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması



Şekil 5.31 1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Ir-192 Gama Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

Tablo 5.19
1090 Karbonlu Yapı Çeliği İçin Tüm Gama Kaynakları Zırhlamalarında Bağlı Hata Hesaplama Sonuçları

Kalınlık (cm)	1090 Karbonlu Yapı Çeliği									
	Cs-137				Co-60				Ir-192	
	Deneysel Değer	Teorik Değer	Hata %	Deneysel Değer	Teorik Değer	Hata %	Deneysel Değer	Teorik Değer	Deneysel Değer	Hata %
0,5	0,840	0,762	10,236	0,901	0,817	10,282	0,772	0,677	0,772	14,0323
1	0,634	0,575	10,261	0,733	0,660	11,061	0,524	0,450	0,524	16,444
1,5	0,477	0,436	9,404	0,592	0,542	9,225	0,356	0,312	0,356	14,103
2	0,360	0,325	10,769	0,481	0,446	7,848	0,242	0,214	0,242	13,084
2,5	0,270	0,244	10,656	0,390	0,353	10,482	0,168	0,149	0,168	12,752
3	0,204	0,184	10,869	0,316	0,286	10,489	0,113	0,100	0,113	13,000
3,5	0,152	0,137	10,949	0,255	0,232	9,914	0,077	0,069	0,077	11,594
4	0,115	0,103	11,651	0,207	0,187	10,695	0,055	0,049	0,055	12,245
4,5	0,087	0,078	11,539	0,168	0,152	10,526	0,037	0,033	0,037	12,121
5	0,065	0,059	10,169	0,136	0,123	10,569	0,026	0,023	0,026	13,044

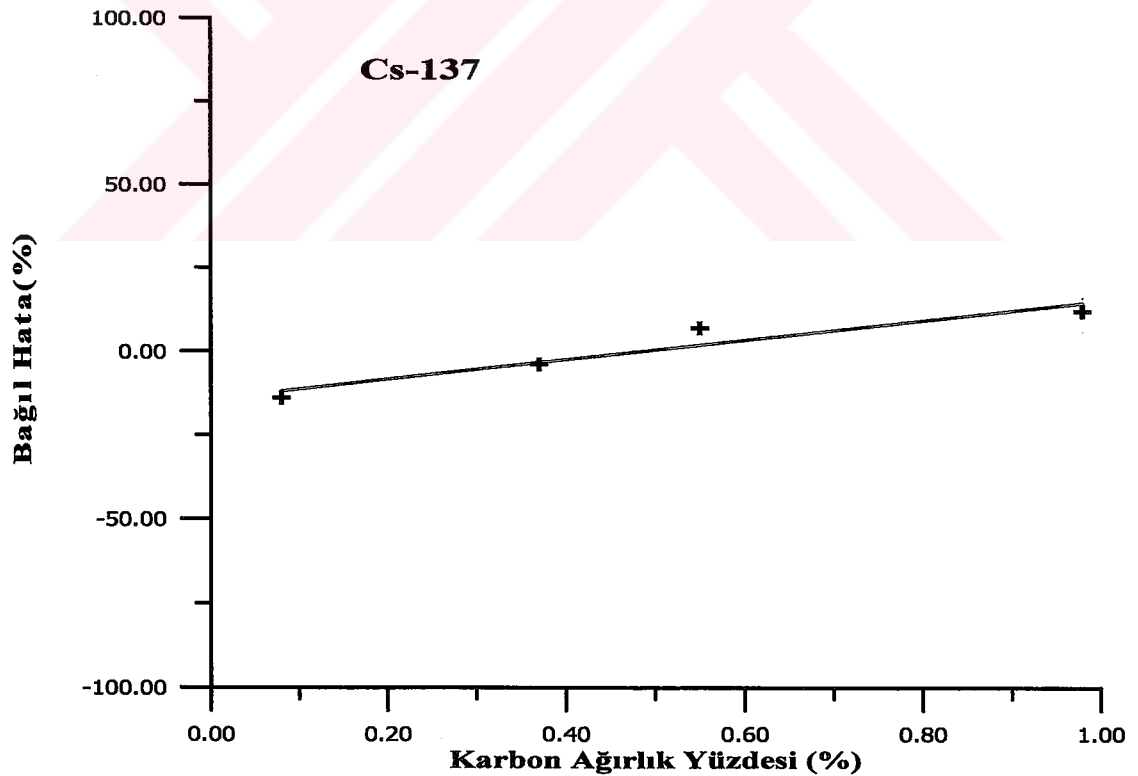
5.6.5. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak Elde Edilen Deney Sonuçlarının Teorik Değerlerle Mukayeseli Değerlendirilmesi

Cs-137 Radyoizotop kaynağı kullanılarak elde edilen deney sonuçları ile teorik hesaplama sonuçlarından (Denklem 2.12'den) elde edilen yarı kalınlıkların mukayeseli değerlendirilmesi Tablo 5.20'den hareketle çizilen grafik Şekil 5.32'de görülmektedir.

Tablo 5.20

Cs-137 Radyoizotop Kaynağı ile Her Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deneysel ve Teorik Yarı-Kalınlık Değerlerinin Mukayeseli Karşılaştırılması

Numune	Deneysel Yarı-Kalınlık Değerleri (cm)	Teorik Yarı-Kalınlık Değerleri (cm)	Bağlı Hata (%)	Ortalama Mutlak Hata (%)	Ortalama Bağlı Hata (%)
1010	0,985	1,145	-14	9,25	0,25
1040	1,152	1,196	- 4		
1050	1,303	1,218	7		
1090	1,427	1,274	12		



Şekil 5.32 Cs-137 Radyoizotop Kaynağı ile Her Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deneysel ve Teorik Yarı-Kalınlık Değerlerinin Bağlı Hatalarının Mukayeseli Karşılaştırılması

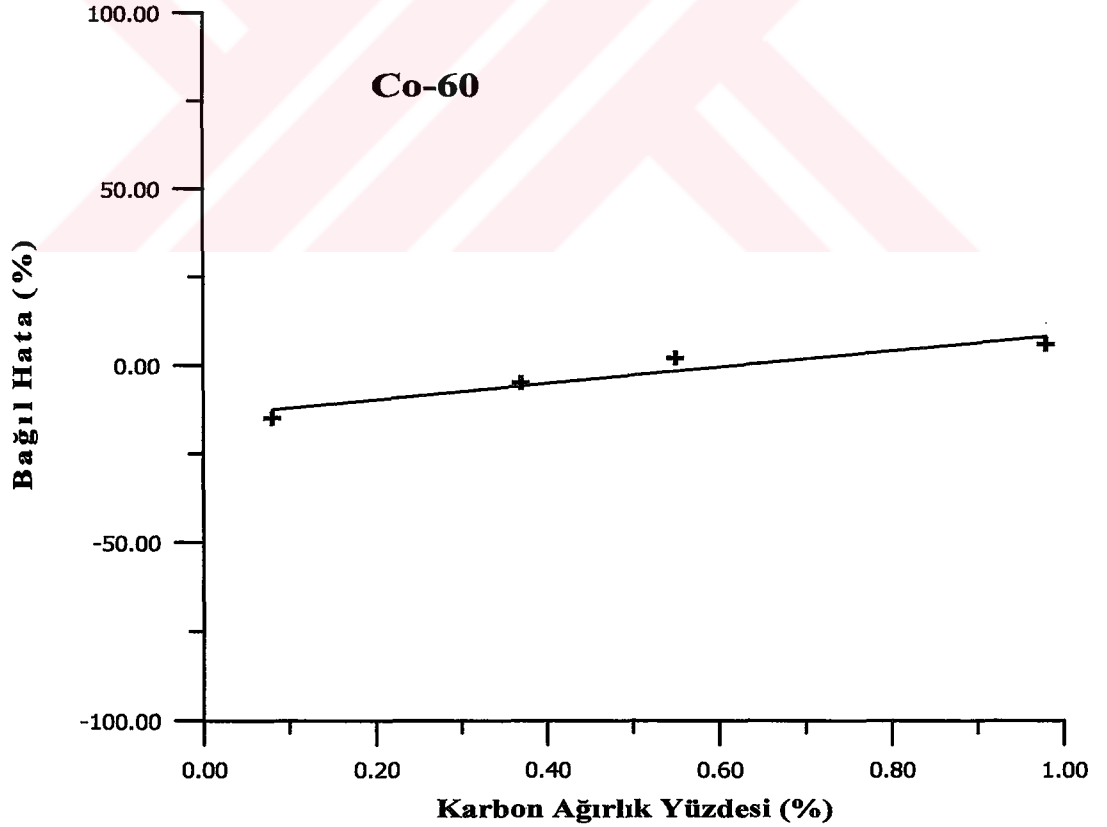
5.6.6. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak Elde Edilen Deney Sonuçlarının Teorik Değerlerle Mukayeseli Değerlendirilmesi

Co-60 Radyoizotop kaynağı kullanılarak elde edilen deney sonuçları ile teorik hesaplama sonuçlarından (Denklem 2.12'den) elde edilen yarı kalınlıkların mukayeseli değerlendirilmesi Tablo 5.21'den hareketle çizilen grafik Şekil 5.33'te görülmektedir.

Tablo 5.21

Co-60 Radyoizotop Kaynağı ile Her Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen DeneySEL ve Teorik Yarı-Kalınlık Değerlerinin Mukayeseli Karşılaştırılması

Numune	DeneySEL Yarı-Kalınlık Değerleri (cm)	Teorik Yarı-Kalınlık Değerleri (cm)	Bağlı Hata (%)	Ortalama Mutlak Hata (%)	Ortalama Bağlı Hata(%)
1010	1,367	1,609	-15	7	-3
1040	1.563	1,645	-5		
1050	1,738	1,704	2		
1090	1,873	1,767	6		



Şekil 5.33 Co-60 Radyoizotop Kaynağı ile Her Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen DeneySEL ve Teorik Yarı-Kalınlık Değerlerinin Bağlı Hatalarının Mukayeseli Karşılaştırılması

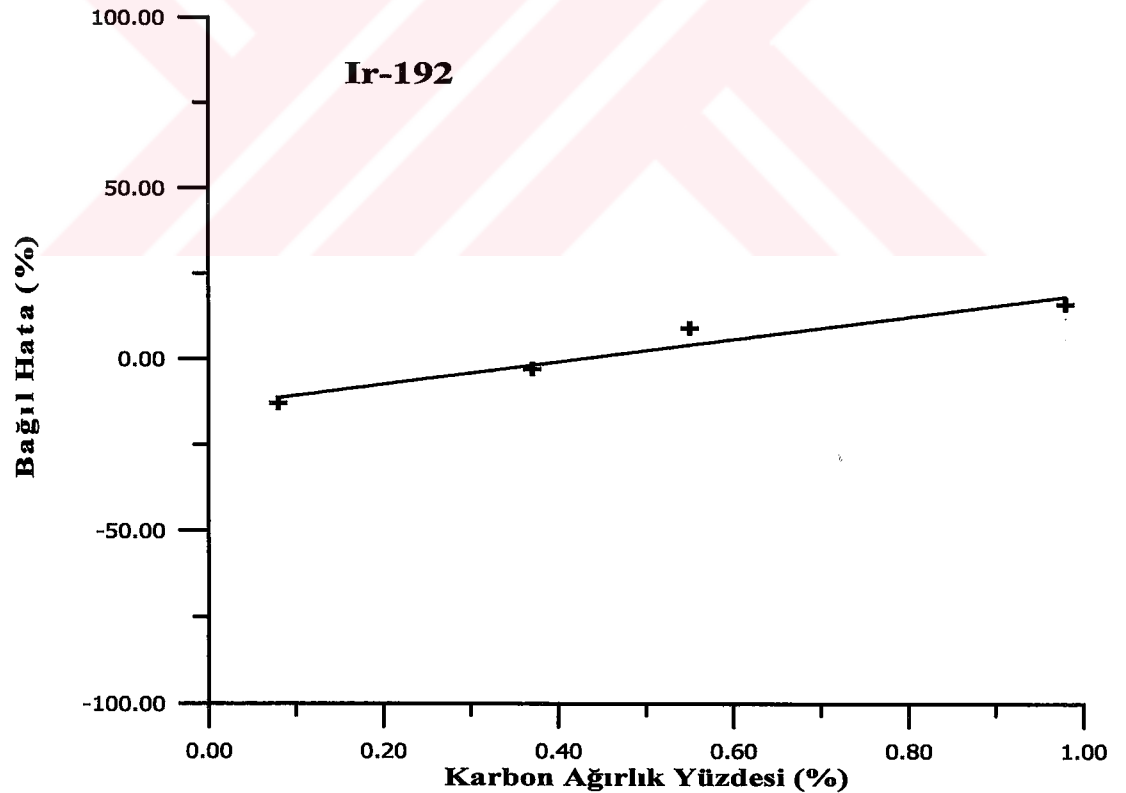
5.6.7. Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak Elde Edilen Deney Sonuçlarının Teorik Değerlerle Mukayeseli Değerlendirilmesi

Ir-192 Radyoizotop kaynağı kullanılarak elde edilen deney sonuçları ile teorik hesaplama sonuçlarından (Denklem 2.12'den) elde edilen yarı kalınlıkların mukayeseli değerlendirilmesi Tablo 5.22'den hareketle çizilen grafik Şekil 5.34'te görülmektedir.

Tablo 5.22

Ir-192 Radyoizotop Kaynağı ile Her Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deneysel ve Teorik Yarı-Kalınlık Değerlerinin Mukayeseli Karşılaştırılması

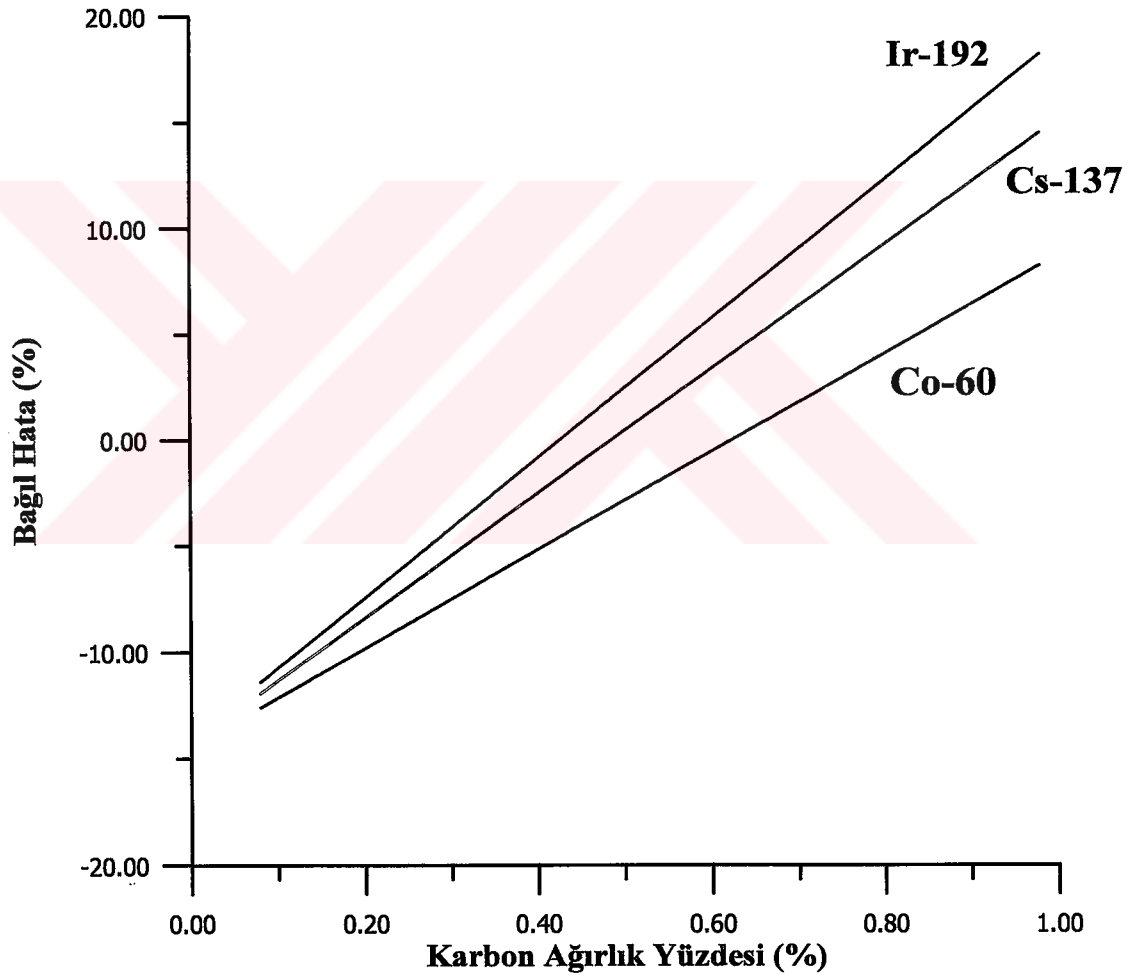
Numune	Deneysel Yarı-Kalınlık Değerleri (cm)	Teorik Yarı-Kalınlık Değerleri (cm)	Bağlı Hata (%)	Ortalama Mutlak Hata (%)	Ortalama Bağlı Hata (%)
1010	0,715	0,822	-13	10,25	2,25
1040	0,84	0,866	-3		
1050	0,955	0,873	9		
1090	1.031	0,892	16		



Şekil 5.34 Ir-192 Radyoizotop Kaynağı ile Her Karbonlu Yapı Çeliği İçin Elde Edilen Deneysel ve Teorik Yarı-Kalınlık Değerlerinin Bağlı Hatalarının Mukayeseli Karşılaştırılması

5.6.8. Farklı Radyoizotoplarla Çalışma Sonucu Elde Edilen Deney Sonuçlarının Teorik Hesaplamaya Göre Bağlı Hatalarının Mukayesesi

Bölüm 5.6.5 - Bölüm 5.6.7'de çalışılan her bir radyoizotop kaynak için elde edilen bağlı hataların beraber mukayesesi Şekil 5.35'de görülmektedir.



Şekil 5.35 Her Bir Radyoizotop Kaynak İle Tüm Karbonlu Yapı Çelikleri İçin Elde Edilen Bağlı Hataların Mukayesesi

BÖLÜM 6

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu Yüksek Lisans Tez çalışması ile, radyasyonla çalışmada önemli bir konu olan zırhlama için kullanılabileceği düşünülen karbonlu yapı çeliklerinin zırhlama özelliklerinin değerlendirilmesi yapılmaya çalışılmıştır. Burada, giriciliği itibariyle zırhlama açısından öncelikle düşünülmesi gereken gama ışınlarının zırhlaması ele alınmıştır. Böylelikle, nükleer teknolojinin hemen her uygulaması için önde gelen bir konu durumundaki gama zırhlamasına ilişkin, önemli olabileceği düşünülen bir araştırma gerçekleştirilmiştir.

Karbonlu yapı çeliklerinin yaygın kullanımı olanları ile bin serisi çeliklerin sınır elemanları olarak nitelenebilecek çelik numunelerle çalışılması öncelikle benimsenmiştir. Bu bağlamda, nispeten daha yaygın kullanımı olan karbonlu yapı çelikleri olarak 1040 ve 1050 çelikleri ve bin serisi çeliklerin alt sınır elemanı olarak 1010 ve üst sınır elemanı olarak da 1090 çeliği ile çalışılması yoluna gidilmiştir.

Seçilen karbonlu yapı çeliklerinin zırhlama özelliklerinin belirlenmesi için, endüstride ve çoğu kez diğer nükleer uygulama alanlarında sıkça kullanılan gama radyoizotop kaynaklarla çalışılması tercih edilmiştir. Bu bağlamda da, Cs-137, Co-60 ve Ir-192 gama radyoizotop kaynakları ile deneyler yapılmıştır.

Bu radyoizotop kaynaklarla çalışılması, lojik açıdan da önem arzetmektedir. Zira, Cs-37 radyoizotopu tek enerji pikli (mono-enerjitik), Co-60 radyoizotopu iki enerjili ve Ir-192 radyoizotopu da çok enerji pikli (poli-enerjitik) gama kaynağı durumundadır. Söz konusu bu üç kaynakla çalışılması ile her üç tip radyoizotop kaynak da incelenmiş olmaktadır.

Lojik sistematik içinde seçilen karbonlu yapı çelikleri ile hazırlanan farklı kalınlıklardaki numuneler kullanılarak üç farklı radyoizotop kaynak için yapılan deneylerle rasyonel bir araştırmanın yapılabileceği düşünülmüştür. Böylelikle, 4 farklı karbonlu yapı çeliği numuneler ile 3 farklı gama radyoizotop kaynakla deney yapıldığı göz önüne alındığında, permütasyonel olarak 12 farklı versiyonel deneysel çalışma yapılmış olmaktadır.

Deneylerimizde herbir karbonlu çelik numune için çalışılan farklı gama radyoizotop kaynaklar kullanılarak elde edilen sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Hepsinin genel değişim karakteristiği benzerdir (Şekil 5.1 – Şekil 5.12). Beklenti doğrultusunda olan bu husus, deneylerin güvenilirliğine ilişkin bir gösterge niteliğindedir.

Gama radyoizotop kaynaklara göre deney sonuçları incelendiğinde, zırhlama özelliğinin en yüksek 1010 çeliğinde olduğu görülmektedir. Sıralama, 1010, 1040, 1050 ve 1090 karbonlu yapı çeliği şeklinde olup, radyoizotop kaynağın değişimi sıralamayı değiştirmemektedir (Şekil 5.13 - Şekil 5.15). Bu durum da beklenti doğrultusundadır. Zira, 1010 çeliği, karbon yüzdesi en düşük olan numunemizdir. Karbon, alaşımdaki demire ve diğer alaşım elementlerine göre daha küçük atom numaralı element olması nedeniyle, karbon miktarının artması çeliklerimizdeki zırhlama özelliğini negatif etkilemekte ve en düşük zırhlama özelliği, beklendiği üzere, 1090 çeliğinde görülmektedir.

Karbonlu yapı çeliklerine göre mukayseli değerlendirmede (Şekil 5.16 - Şekil 5.19), çalışılan her bir karbonlu çelik için radyoizotop kaynakların zırhlanmasının sıralanışı hep Co-60, Cs-137 ve Ir-192 şeklindedir. Bu açıdan incelendiğinde, karbonlu yapı çeliklerin en iyi zırhlamayı Ir-192 için, daha sonra Cs-137 için ve en düşük zırhlamayı da Co-60 için yaptığı gözlenmektedir. Bu husus, gama radyoizotop kaynakların enerji seviyeleri ile doğrudan bağlantılıdır.

Nitekim, en yüksek gama enerjileri Co-60 radyoizotopu için söz konusudur. Dolayısı ile de karbonlu yapı çeliklerinin, gama ışınlarını en çok geçirisi Co-60 için olmakta, bunu Cs-137 ve Ir-192 takip etmektedir.

Tüm deneysel çalışmalarda, numune kalınlığı arttıkça zırhlama özelliği artmakta, bir başka deyişle, radyasyon geçirgenliği düşmektedir. Ayrıca, tüm deneysel eğriler eksponansiyel değişim karakterindedir. Bu hususlar, zırhlamanın genel karakteri olan radyasyon transmisyonu ifadesi olan Denklem 2.8'in eksponansiyel karakteri ile de tam uyuşum göstermektedir.

Deneysel olarak, yapılan çalışmalardan ayrı olarak, genel teorik hesaplama yapılması yoluna da gidilmiştir. Çalışılan her bir karbonlu yapı çeliği için, çelikteki alaşım elemanları göz önüne alınarak Denklem 5.1 kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve buradan başlangıç radyasyon şiddeti göz önüne alınarak bağıl şiddet bağlamında sonuçlara ulaşılmıştır.

Deneysel sonuçlarla, teorik sonuçlar karşılaştırıldığında, sonuçların uyum içinde olduğu gözlenmektedir (Şekil 5.20 - Şekil 5.31). Nitekim, teorik ve deneysel grafiklerin eksponansiyel karakter açısından uyum içinde olduğu gibi sıralanış açısından da uyum içinde olduğu görülmektedir.

Bu irdelemelerden ayrı olarak, çalışılan her bir karbonlu yapı çeliği için ayrı ayrı yarı kalınlık değerleri hesaplanmıştır. Yarı kalınlık değerleri, zırhlama açısından stratejik önem arz eden bir kavram olup, her tür nükleer uygulama ve radyasyonla çalışma için önde gelen mukayese kriteri durumundadır.

Yarı kalınlık için elde edilen değerler, “uygun” olarak nitelenebilecek değerler olup, beklendiği üzere, çalışılan karbonlu yapı çelikleri için 1010, 1040, 1050 ve 1090 sıralamasındadır.

Teorik ve deneysel sonuçların arasındaki farklılığa ilişkin bağıl hata hesapları da yapılmıştır (Bölüm 5.6.5 – Bölüm 5.6.7). Elde edilen bağıl hata değerlerinin hepsi makul ve kabul değerler durumundadır. Ortalama bağıl hata % 5'ten azdır ki; bu da “iyi” olarak nitelenebilecek bir bağıl hata değeridir.

Bu Yüksek Lisans tez çalışması ile farklı karbonlu yapı çeliklerinin endüstride en yaygın kullanılan gama radyoizotop kaynaklarına ilişkin zırhlama karakterleri belirlenebilmiştir. Bu bağlamda, her bir karbonlu yapı çeliği için çizilen eğriler, kalibrasyon eğrisi olarak kullanılabilir niteliktedir. Bir başka deyişle, bu yüksek lisans tezi ile incelenen karbonlu yapı çeliklerinin zırhlama amaçlı uygulamalarında çizilen söz konusu eğrilerin kullanılabileceği önerilebilir.



KAYNAKLAR

- Archer, B.R.**, 1995. History of Shielding Of Diagnostic X-Ray Facilities, *Health Physics*, **69**, 750-758
- Bernier, D.R., Christian, P.E., Langan, J.K.**, 1997. Nuclear Medicine, Mosby, New York
- Bevelacqua, J. J.**, 1999. Basic Health Physics Problems and Solutions, A Wiley Interscience Publication.
- Davis, J.R.**, 1996. ASM Specialty Handbook Carbon and Alloy Steels, USA
- Dixon, R.L.**, 1998. Primary Shielding Barriers For Diagnostic X-Ray Facilities: A New Model, *Health Physics*, **74**, 181-189
- Eifert, E.J.**, 1999. The AL-R8: The Next Generation Stagibag Container For Plutonium Pits At The USDOE Pantex Plant, *Health Physics*, **77**, 104-107
- Etherington, H.**, 1958. Nuclear Engineering Handbook, McGraw-Hill Book Company.
- Földiák, G.**, 1986. Industrial Application of Radioisotopes, Elsevier, Amsterdam
- Gardner, R.P., Ely, R.L.**, 1967. Radioisotopes Measurement Applications in Engineering, Reinhold Publishing Company, New York
- International Commission on Radiological Protection (ICRP)**, 1977. Radiation Protection, New York
- Knoll, G.F.**, 1979. Radiation Detection and Measurement, John Wiley and Sons New York
- Kurashige, M.K., Kasako, T.**, 2001. The shielding Effect of Iron Louvers For Neutrons and Gamma Rays, *Nuclear Technology*, **136**, 63-75
- McMaster, R.C.**, 1963. Nondestructive Testing Handbook, The Ronald Press Company, New York.
- Nuclear Regulatory Commission (NRC)**, 1991. 56 Federal Register, **98**, National Archives and Records Administration, Washington

- Oberhofer, M.**, 1991. Advances in Radiation Protection, Kluwer Academic Publisher
- Powsner, R.A., Powsner E.R.**, 1998. Essentials of Nuclear Medicine Physics, Maple-Vail Book Manufacturing Group, Hong Kong
- Profio, A. E.**, 1979. Radiation Shielding and Dosimetry, A Wiley Interscience Publication.
- Segre, E.**, 1977. Nuclei and Particles, Benjamin W.A., Inc, Advanced Book Program, Massachusetts
- Shapiro, J.**, 1989. Radiation Protection, Harvard Univesity Press, Cambridge. Massachusetts.
- Shultis, J.K., Faw, R.E.**, 1996. Radiation Shielding, Prentice Hall PTR Upper Saddle River.
- Simpkin, D.J.**, 1995. Transmission Data For Shielding Diagnostic X-Ray Facilities *Health Physics*, **68**, 704-709
- Smith, W. F.**, 1981. Sturucture and Properties of Engineering Alloys, McGraw-Hill Book Company
- Thewlis, J., Glass, R.C., Hughes, D.J., Meetham, A.R.**, 1962. Encyclopaedic Dictionary of Physics, Pergamon Press, NewYork.
- Tuğrul, A.B.**, 1995. A new Approach for Calculating The Geometry Factor For Flow Measurements With Radioactive Tracers, *Kerntechnik*, **60**, 265-266
- Williams., L.E.**, 1987. Nuclear Medical Physics, CRC Press, Boca Raton Florida

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında İstanbul'da doğdu. Maçka Akif Tuncel Anadolu Teknik Lisesi Bilgisayar Bölümünden mezun oldu. 1994 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümüne girdi ve 1998'de mezun oldu. 1997'de İ.Ü. Çapa Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Anabilim Dalı'nda staj yaptı. 1998 yılında Nükleer Enerji Enstitüsü'nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı ve halen Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitime devam etmektedir. İngilizce bilmektedir.